

---

# PROPUESTA DEL NIVEL DE REFERENCIA DE LAS EMISIONES FORESTALES DE COLOMBIA PARA EL PERIODO 2023-2027 COMO MECANISMO PARA OPTAR AL PAGO POR RESULTADOS DE REDD+ BAJO LA CMNUCC

---

BOGOTÁ D.C. ENERO 2024



Versión 2.0

## MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE - AMBIENTE

MARIA SUSANA MUHAMAD GONZÁLEZ – Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MAURICIO CABRERA LEAL – Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental

LILIA TATIANA ROA AVENDAÑO – Viceministra de Ordenamiento Ambiental del Territorio

NESTOR ROBERTO GARZON CADENA – Director de Cambio Climático y Gestión del Riesgo (E)

ADRIANA RIVERA BRUSATIN – Director de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos

## INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM

GHISLIANE ECHEVERRY PRIETO - Directora General

LINA MARÍA CABALLERO - Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

ELIZABETH PATIÑO CORREA - Subdirectora de Estudios Ambientales

### EQUIPO TÉCNICO

#### AMBIENTE

MARIA ALEJANDRA GARZÓN - DCCGR

FREDY ALEJANDRO GOMEZ - DCCGR

BEATRIZ HELENA VILLANUEVA - DCCGR

CAROLINA GARZÓN LAMPREA - DCCGR

ARTURO JIMENEZ ROJAS - DCCGR

MARIA CRISTINA CIFUENTES – DCCGR

MARIA ANGELICA ARENAS – DCCGR

DANNA CASTAÑEDA - DCCGR

HUGO JEIMER GARCIA – DBBSE

#### IDEAM

CONSTANTINO HERNÁNDEZ - SEA

EDERSSON CABRERA - SMByC

GUSTAVO GALINDO – SMByC

JOSÉ JULIÁN GONZÁLEZ - SMByC

EDILNEYI ZÚÑIGA - SMByC

ALEXANDER CUBILLOS – SMByC

IVÁN PÉREZ - SMByC

JHONATAN ARIAS – SMBYC

LUIS GUERRERO - SMBYC

ANDRES ZULUAGA - SMBYC

LINA VERGARA – SMByC

ALEJANDRA DUQUE – SMByC

AMALIA GARAVITO - SMByC

MARÍA CECILIA CARDONA - SEA

CLAUDIA OLARTE -SEA- IFN

ANDRÉS RODRÍGUEZ TORO –SEA- IFN

RUBEN JURADO –SEA-IFN

SEBASTIAN HERNÁNDEZ -SEA-IFN

LIZET ROBAYO - SEA

LUIS ENRIQUE CAICEDO - SEA

SAMANTHA CORREDOR – SEA

LEONARDO PINEDA – SEA

DIEGO CÓRDOBA - SEA

#### APOYO TÉCNICO

JAVIER ARISTIZABAL - FAO COLOMBIA

JUAN D. TURRIAGO - BIOCARBONO ORINOQUIA

ADRIANA P. YEPES - FAO DIVISIÓN FORESTAL

LUCIO A. SANTOS - FAO DIVISIÓN FORESTAL

Diseño de portada: CAMILO ANDRES SARMIENTO

Bogotá D.C  
Mayo de 2024

#### CITA SUGERIDA:

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – IDEAM (2024). Propuesta del nivel de referencia de las emisiones forestales de Colombia para el periodo 2023 – 2027 como mecanismo para optar al pago por resultados de REDD+ bajo la CMNUCC. Versión 2.0. Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) – Programa ONU REDD Colombia. 121 p.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION .....	14
2. ÁREA DE CUBRIMIENTO DEL NREF .....	14
3. CONTEXTO NACIONAL .....	17
3.1. Estrategia Nacional REDD+: Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques – EICDGB “ <i>Bosques Territorios de Vida</i> ” .....	19
3.2. CONPES 4021 – Política Nacional para el Control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques .....	23
3.3 Contribución Determinada a Nivel Nacional – NDC (Actualización 2020) .....	24
4. DEFINICIÓN DE BOSQUE .....	25
5. ACTIVIDADES REDD+ INCLUIDAS .....	26
5.1. Deforestación .....	26
5.2. Degradación forestal .....	26
6. SUMIDEROS INCLUIDOS .....	26
7. GASES INCLUIDOS .....	27
8. CONSTRUCCIÓN DEL NIVEL DE REFERENCIA DE LAS EMISIONES FORESTALES NACIONALES .....	27
8.1. Escala .....	27
8.2. Periodo de Referencia .....	27
8.3 Proyección del NREF .....	27
8.4 Datos de Actividad .....	27
8.4.1 Aspectos metodológicos para la generación de datos de actividad por deforestación .....	28
8.4.1.1 Preprocesamiento digital de imágenes de satélite .....	28
8.4.1.2 Procesamiento digital de imágenes de satélite .....	33
8.4.1.3 Cálculos y reportes .....	43
8.4.2 Aspectos metodológicos para la generación de datos de actividad por degradación forestal .....	46
8.4.2.1 Datos empleados para la estimación de la degradación forestal .....	47
8.4.2.2 Definición de distancia al borde y pre-procesamiento de la información .....	48
8.5 Factores de emisión .....	62
8.5.1 Origen y tratamiento de los datos de campo .....	63
8.5.2 Cálculos dasométricos, de suelo y detritos de madera .....	66
8.5.3 Reservas de biomasa y carbono en ecosistemas boscosos de Colombia .....	70
8.5.4 Factores de emisión por deforestación y degradación .....	73
8.5.4.1 Consideraciones para deforestación .....	73
8.5.4.2 Consideraciones para degradación .....	73
8.6 Circunstancias nacionales .....	77
8.6.1 Principales causas directas de la deforestación en el período de 2013-2022 .....	77

8.6.2 Factores ambientales y sociopolíticos relevantes para el análisis de circunstancias nacionales para la actividad de deforestación.....	78
8.6.3 Supuestos y aproximación modelada al cálculo del ajuste por circunstancias nacionales para la actividad de deforestación.....	81
8.6.4 Modelo logístico.....	82
8.6.4.1 Estimación de la tasa de crecimiento (b) .....	83
8.6.4.2 Estimación del área de bosque susceptible a la deforestación (K) .....	83
8.6.4.3 Proyección nacional de pérdida de bosque natural 2023 - 2027 .....	85
8.6.4.4 Estimación del error.....	86
8.6.5 Ajuste del NREF por circunstancias nacionales 2023-2027 .....	87
8.7 Construcción del nivel de referencia de emisiones forestales .....	87
8.7.1 Línea base de emisiones por deforestación.....	87
8.7.2 Línea base de emisiones por degradación forestal.....	90
8.7.3 Cálculo del NREF.....	91
8.7.3.1 Promedio histórico nacional de las emisiones por deforestación .....	91
8.7.3.2 Promedio histórico nacional de las emisiones por degradación forestal .....	92
8.7.3.3 Emisiones proyectadas por deforestación ajustadas por circunstancias nacionales.....	92
8.7.3.4 Emisiones proyectadas por degradación forestal.....	93
8.7.3.5 Nivel de referencia nacional de emisiones forestales para el periodo 2023 – 2027 .....	94
8.7.4 Cálculo de incertidumbre del NREF .....	95
8.7.4.1. Variables utilizadas.....	96
8.7.4.2. Metodología para la estimación de incertidumbre a partir de simulación.....	97
8.7.4.3 Resultados.....	110
9. CONSISTENCIA ENTRE REPORTES DE GESTIÓN DE GEI PRESENTADOS A LA .....	111
9.1 Consistencia entre NREF nacional y el Tercer Reporte Bienal de Actualización .....	111
9.2 Diferencias entre el NREF nacional 2018 – 2022 y el presente NREF nacional.....	112
10. PLAN DE MEJORAS Y FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES.....	114
10.1 Refinamiento de los factores de emisión para deforestación.....	114
10.2 Unidades de muestreo permanente para el monitoreo continuo del bosque .....	114
10.3 Tipificación de la deforestación y emisiones netas .....	114
10.4 Refinamiento de los factores de emisión para degradación forestal .....	115
10.5 Modelación de circunstancias nacionales asociadas a la degradación forestal.....	115
10.6 Diferenciación de contenidos de carbono en suelos minerales y suelos orgánicos. ....	115
10.7 Inclusión de las mejoras del presente NREF como parte del primer BTR.....	115
11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	116

## Listado de Tablas

Tabla 1. Matriz de error en términos del resultado de muestreo.....	41
Tabla 2. Matriz de error en términos de proporción del área .....	41
Tabla 3. Resumen de estimadores de la proporción del área .....	43
Tabla 4. Monitoreo de datos de actividad de deforestación (Cambio en la superficie de bosque – CSB) para la construcción del nivel de referencia de emisiones forestales.....	44
Tabla 5. Re categorización MSPA.....	52
Tabla 6. Diseño de muestreo mapa de Degradación 2017-2018.....	57
Tabla 7. Matriz de error en términos del resultado de muestreo.....	60
Tabla 8. Matriz de error en términos de proporción del área.....	60
Tabla 9. Estimadores para el muestreo aleatorio estratificado .....	62
Tabla 10. Escenarios de tamaño de muestra .....	64
Tabla 11. Tamaños de muestra por región .....	64
Tabla 12. Parámetros del modelo Weibull por región y habito de crecimiento .....	67
Tabla 13. Cantidad de biomasa aérea, subterránea y total calculada por bioma.....	71
Tabla 14. Carbono almacenado en la biomasa aérea, subterránea y total calculada por bioma.....	72
Tabla 15. Carbono orgánico del suelo (COS) acumulado en los ecosistemas boscosos de Colombia.....	72
Tabla 16. Contenidos de carbono en los diferentes componentes de los detritos de madera .....	73
Tabla 17. Contenidos promedio biomasa por compartimento.....	76
Tabla 18. Factores de emisión para degradación y deforestación para BA, BS, COS, DFM, DGM y MPyTM.....	77
Tabla 19. Tasa de crecimiento de la deforestación (b) estimada por bioma .....	83
Tabla 20. Área de bosque susceptible a ser deforestado (K) estimada por región (ha) .....	85
Tabla 21. Proyección de la deforestación nacional para el ajuste por circunstancias nacionales de la actividad de deforestación. Período 2023-2027.....	85
Tabla 22. Proyección de la deforestación nacional para el ajuste por circunstancias nacionales de la actividad de deforestación. Período 2023-2027.....	87
Tabla 23. Datos de actividad por deforestación para el periodo de referencia.....	88
Tabla 24. Datos de actividad por degradación forestal para el periodo de referencia .....	90
Tabla 25. Promedio histórico nacional de las emisiones por deforestación calculado a partir del periodo de referencia .....	91
Tabla 26. Promedio histórico nacional de las emisiones por degradación forestal calculado a partir del periodo de referencia .....	92
Tabla 27. Emisiones por deforestación proyectadas a nivel nacional para el periodo 2023 - 2027 .....	93
Tabla 28. Emisiones por degradación forestal proyectadas para el periodo 2023 – 2027 .....	94

Tabla 29. Nivel de referencia de emisiones forestales para el periodo 2023 - 2027.....	94
Tabla 30. Variables utilizadas para el modelo de estimación de incertidumbre de emisiones del NREF.....	96
Tabla 31. Incertidumbre del NREF desagregado por compartimientos y para degradación forestal.....	110



## Listado de Figuras

Figura 1. Mapa de regiones naturales de Colombia.....	16
Figura 2. Hectáreas sembradas en plantaciones forestales comerciales para el periodo.....	18
Figura 3. Ejemplo de los filtros disponibles para el enmascaramiento de nubes en la herramienta Cloud Masking desarrollada por el SMyC.....	30
Figura 4. Mosaico de mediana de superficie de reflectancia año 2017, imágenes Landsat 7 y 8.....	31
Figura 5. Esquema del proceso metodológico aplicado en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes V.2.....	32
Figura 6. Ejemplo diseño de muestreo.....	37
Figura 7. Generación del muestreo.....	38
Figura 8. Clasificación de las muestras utilizando AcATaMa.....	40
Figura 9. Clasificación de referencia de etiquetas en la evaluación temática y unidad de muestreo.....	40
Figura 10. Monitoreo del cambio de la superficie de bosque para el período 2013 - 2022.....	46
Figura 11. Superficie de bosque natural original – superficie de bosque natural recategorizado.....	51
Figura 12. Categorías generadas por el algoritmo MSPA.....	52
Figura 13. Re-categorización MSPA a tres clases.....	53
Figura 14. Identificación de cambios en la superficie de bosque (deforestación y degradación).....	54
Figura 15. Generación del muestreo Mapa Degradación Colombia 2017 - 2018.....	57
Figura 16. Clasificación de las muestras utilizando AcATaMa.....	59
Figura 17. Clases de para etiquetar en la evaluación temática y area de muestreo.....	59
Figura 18. Ubicación geográfica de los 953 conglomerados implementados en la fase 2015 – 2022 del IFN.....	65
Figura 19. Línea de tiempo de los eventos sociopolíticos y climáticos relevantes en Colombia durante período 2013-2022.....	79
Figura 20. Estimación del bosque susceptible de deforestación (K).....	84
Figura 21. Proyección nacional de pérdida de bosque natural. Período 2023-2027.....	86
Figura 22. Emisiones totales nacionales proyectadas debidas a la deforestación y la degradación forestal para el periodo 2023 - 2027.....	95

## Listado de Ecuaciones

Ecuación 1. Cálculo del tamaño de la muestra .....	36
Ecuación 2. Cálculo de la proporción de área mapeada .....	36
Ecuación 3. Cálculo de la desviación estandar por estrato .....	36
Ecuación 4. Cálculo de la exactitud global o general .....	42
Ecuación 5. Cálculo de la exactitud del usuario .....	42
Ecuación 6. Cálculo de la exactitud del productor .....	42
Ecuación 7. Cálculo del tamaño de la muestra .....	56
Ecuación 8. Cálculo de la proporción de área mapeada .....	56
Ecuación 9. Cálculo de la desviación estandar por estrato .....	56
Ecuación 10. Cálculo de la exactitud global o general .....	61
Ecuación 11. Cálculo de la exactitud del usuario .....	61
Ecuación 12. Cálculo de la exactitud del productor .....	61
Ecuación 13. Cálculo del tamaño de muestra .....	63
Ecuación 14. Cálculo del diámetro normal a partir del factor de reducción diamétrica (FRD) .....	66
Ecuación 15. Cálculo de la altura total del árbol en función del diámetro normal (dap) ...	67
Ecuación 16. Biomasa aérea por árbol .....	67
Ecuación 17. Biomasa aérea para palmas y helechos arbóreos .....	69
Ecuación 18. Biomasa subterránea .....	69
Ecuación 19. Estimación del carbono total .....	69
Ecuación 20. Cálculo del factor de emisión por degradación .....	76
Ecuación 21. Cálculo del factor de emisión por deforestación en Bosque Borde .....	76
Ecuación 22. Cálculo del factor de emisión por deforestación en Bosque Núcleo .....	76
Ecuación 23. Cálculo de emisiones .....	76
Ecuación 24. Modelo logístico de crecimiento .....	82
Ecuación 25. Modelo logístico de crecimiento modificado .....	83
Ecuación 26. Cálculo del error de porcentaje medio absoluto (MAPE) .....	86
Ecuación 27. Emisiones anuales nacionales debidas a la deforestación .....	90
Ecuación 28. Emisiones anuales nacionales debidas a la degradación forestal .....	91
Ecuación 29. Cálculo de las emisiones por deforestación con ajuste por circunstancias nacionales .....	92
Ecuación 30. Cálculo de las emisiones brutas de la biomasa aérea para deforestación total .....	97
Ecuación 31. Cálculo de las emisiones brutas en la biomasa aérea en bosque núcleo .....	98
Ecuación 32. Cálculo del factor de biomasa aérea en bosque núcleo .....	98
Ecuación 33. Cálculo de las emisiones brutas de biomasa aérea por deforestación en bosque borde .....	98
Ecuación 34. Cálculo del factor de biomasa aérea en bosque borde .....	98

Ecuación 35. Cálculo de las emisiones brutas de biomasa aérea por degradación forestal .....	99
Ecuación 36. Cálculo de factor de biomasa aérea para degradación .....	99
Ecuación 37. Cálculo de la biomasa aérea por degradación forestal .....	99
Ecuación 38. Cálculo de las emisiones brutas de la biomasa subterránea para deforestación total .....	99
Ecuación 39. Cálculo de las emisiones brutas de biomasa subterránea por deforestación en bosque núcleo .....	100
Ecuación 40. Cálculo del factor de biomasa aérea para bosque núcleo .....	100
Ecuación 41. Cálculo de las emisiones brutas de biomasa subterránea por deforestación en bosque borde .....	100
Ecuación 42. Cálculo del factor de biomasa subterránea para bosque borde .....	100
Ecuación 43. Cálculo de las emisiones brutas de biomasa subterránea por degradación forestal .....	101
Ecuación 44. Cálculo del factor de biomasa subterránea para degradación forestal .....	101
Ecuación 45. Cálculo de la biomasa subterránea por degradación forestal .....	101
Ecuación 46. Cálculo de las emisiones brutas de la biomasa total para deforestación total .....	101
Ecuación 47. Cálculo de las emisiones brutas de la biomasa total para deforestación en bosque núcleo .....	102
Ecuación 48. Cálculo de las emisiones brutas de la biomasa total por deforestación para bosque borde .....	102
Ecuación 49. Cálculo de las emisiones brutas de la biomasa total para degradación .....	102
Ecuación 50. Cálculo de las emisiones brutas de los detritos de madera para deforestación total .....	103
Ecuación 51. Cálculo de las emisiones brutas de los detritos de madera finos (DFM) en bosque total .....	103
Ecuación 52. Cálculo de las emisiones brutas de detritos finos (DFM) en bosque núcleo .....	103
Ecuación 53. Cálculo de las emisiones brutas de detritos finos (DFM) en bosque borde .....	104
Ecuación 54. Cálculo de las emisiones brutas de detritos gruesos (DGM) en bosque total .....	104
Ecuación 55. Cálculo de las emisiones brutas de detritos gruesos (DGM) en bosque núcleo .....	104
Ecuación 56. Cálculo de las emisiones brutas de detritos gruesos (DGM) en bosque borde .....	105
Ecuación 57. Cálculo de las emisiones brutas de detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) en bosque total .....	105
Ecuación 58. Cálculo de las emisiones brutas de detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) en bosque núcleo .....	105
Ecuación 59. Cálculo de las emisiones brutas de detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) en bosque borde .....	106

Ecuación 60. Cálculo de las emisiones brutas del carbono orgánico del suelo (COS) acumulados .....	106
Ecuación 61. Cálculo del carbono total acumulado .....	106
Ecuación 62. Cálculo del carbono capturado .....	107
Ecuación 63. Cálculo del modelo general de carbono capturado .....	107
Ecuación 64. Cálculo de la deforestación total .....	107
Ecuación 65. Cálculo del carbono capturado en el suelo con factor de 20 años (a).....	107
Ecuación 66. Cálculo del carbono capturado en el suelo con factor de 20 años (b) .....	108
Ecuación 67. Cálculo de las emisiones brutas por deforestación en la biomasa total, detritos y suelos.....	108
Ecuación 68. Cálculo del promedio de las emisiones brutas para la biomasa total, detritos y COS .....	108
Ecuación 69. Cálculo de la varianza del promedio de las emisiones brutas de la biomasa total, detritos y COS .....	109
Ecuación 70. Cálculo de la desviación estandar de las emisiones brutas de la biomasa total, detritos y COS .....	109
Ecuación 71. Cálculo de la incertidumbre de las emisiones brutas de la biomasa total, detritos y COS .....	109
Ecuación 72. Calculo de la incertidumbre del NREF.....	109

### Listado de Recuadros

Recuadro 1. Consistencia temporal de la superficie de bosque .....	50
Recuadro 2. Uso del modelo alométrico de Chave et.al. (2014) para predecir la biomasa aérea .....	68
Recuadro 3. Exclusión de la hojarasca.....	71
Recuadro 4. Estimación Emisiones a nivel nacional para cada estrato de bosque y para cada compartimiento.....	75
Recuadro 5. Estimación de emisiones por los cambios en los contenidos de carbono en el suelo debido a la deforestación .....	89

## GLOSARIO

AFOLU:	Agricultura, Silvicultura y Usos del Suelo
AIC:	Criterio de Información de Akaike
BA:	Biomasa Aérea
BS:	Biomasa Subterránea
BT:	Biomasa Total
BTR:	Reporte bienal de transparencia (por sus siglas en inglés: biennial transparency report)
CMNUCC:	Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CONPES:	Consejo Nacional de Política Económica y Social
COS:	Carbono orgánico del suelo
COVID - 19:	Enfermedad por coronavirus 2019 (acrónimo del inglés: coronavirus disease 2019)
DAP:	Diámetro a la Altura del Pecho (cm)
DCI:	Declaración Conjunta de Intención
DM:	Detritos de madera
DFM	Detritos finos de madera
DGM	Detritos gruesos de madera
EE:	Emisiones Estimadas
EICDGB:	Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques
ER:	Emisiones Reducidas
ENREDD+:	Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones Debidas a la Deforestación y Degradación Forestal
FARC:	Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
H:	Altura de los árboles o palmas (m)
IBA:	Informe Bienal de Actualización
IDEAM:	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IF:	Incendio Forestal
IFN:	Inventario Forestal Nacional
IPCC:	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por su traducción del inglés: Intergovernmental Panel on Climate Change)

Ambiente:	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MP:	Árboles muertos en pie
MRV:	Medición, Reporte y verificación
MSN:	Metros sobre el nivel del mar
MSPA:	Morphological Spatial Pattern Analysis
NDC:	Contribución determinada a nivel nacional (por su traducción del inglés: Nationally Determined Contribution)
NREF:	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales
REDD+:	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación, Manejo Forestal Sostenible, Conservación y Aumento de los stocks/contenidos de carbono
RBA:	Reporte Bienal de Actualización
REM:	REDD Early Movers
SMByC:	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono
WD:	Densidad de la madera (por sus siglas en inglés: Wood Density)

## 1. INTRODUCCION

En el marco de las medidas mencionadas en el párrafo 70 de la decisión 1/CP.16 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), Colombia presenta su tercer Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) para el periodo 2023 – 2027, a fin de que sea incluido en el proceso de evaluación técnica requerido para optar al mecanismo de pagos basados en resultados por efecto de la reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal, la conservación de bosques, el manejo forestal sostenible y el mejoramiento de los contenidos de carbono en los países en desarrollo (REDD+) ante la CMNUCC.

Colombia resalta que la presentación de este NREF y sus anexos técnicos, es voluntaria y tiene como propósito exclusivo generar la línea base que permita medir el desempeño de la implementación de las actividades señaladas en el párrafo 70 de la Decisión 1/CP.16, y obtener pagos por las acciones de REDD+ basado en resultados bajo las directrices del Marco de Varsovia sobre REDD+, de conformidad con las decisiones 9/CP.19, 13/CP.19, 14/CP.19 , y de aquellas otras allí citadas, así como del Artículo 5 del Acuerdo de París, el cual las recoge.

Para el desarrollo del presente NREF, el país sigue las directrices del Anexo de la Decisión 12/CP.17, y aplica una aproximación *step-wise*, pasando de una escala subnacional a una nacional, lo que permite tener una información mucho más robusta y de mayor alcance, mejorando la precisión de los resultados derivados del NREF. Además, con este nuevo NREF, Colombia mantiene el enfoque presentado en el anterior NREF para proyectar el comportamiento de la deforestación, en donde las circunstancias nacionales no son uniformes a lo largo del tiempo, sino que presenta variaciones anuales con respecto al promedio histórico de deforestación, las cuales pueden ser estimadas a partir de un modelo logístico.

La estructuración del presente documento de NREF contempla la inclusión de los siguientes ítems:

- a) Información usada en la construcción del NREF.
- b) Transparencia, completitud, consistencia y precisión, incluida la información metodológica usada en el momento de construir el NREF.
- c) Sumideros, gases y actividades incluidas en el NREF.
- d) La definición de bosque usada.

Cada literal se aborda en los siguientes apartados del documento.

## 2. ÁREA DE CUBRIMIENTO DEL NREF

La superficie de Colombia es de 2.070.408 km<sup>2</sup>, de los cuales 1.141.748 km<sup>2</sup> corresponden a su extensión continental y los restantes 928.660 km<sup>2</sup> a su extensión marítima. De acuerdo con la decisión 12/CP.17, se presenta un NREF nacional, el cual corresponde al

área de las cinco regiones naturales que conforman el territorio continental colombiano, y su parte insular alojada en las regiones de Caribe y Pacífico. Las regiones geográficas son divisiones territoriales diferenciadas por el relieve, el clima, la vegetación y las clases de suelos que ellas se encuentran (Llinas, 2013). En Colombia se pueden identificar cinco grandes regiones geográficas (Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico), cuya distribución puede observarse en la Figura 1. A continuación, se describe cada una de ellas.

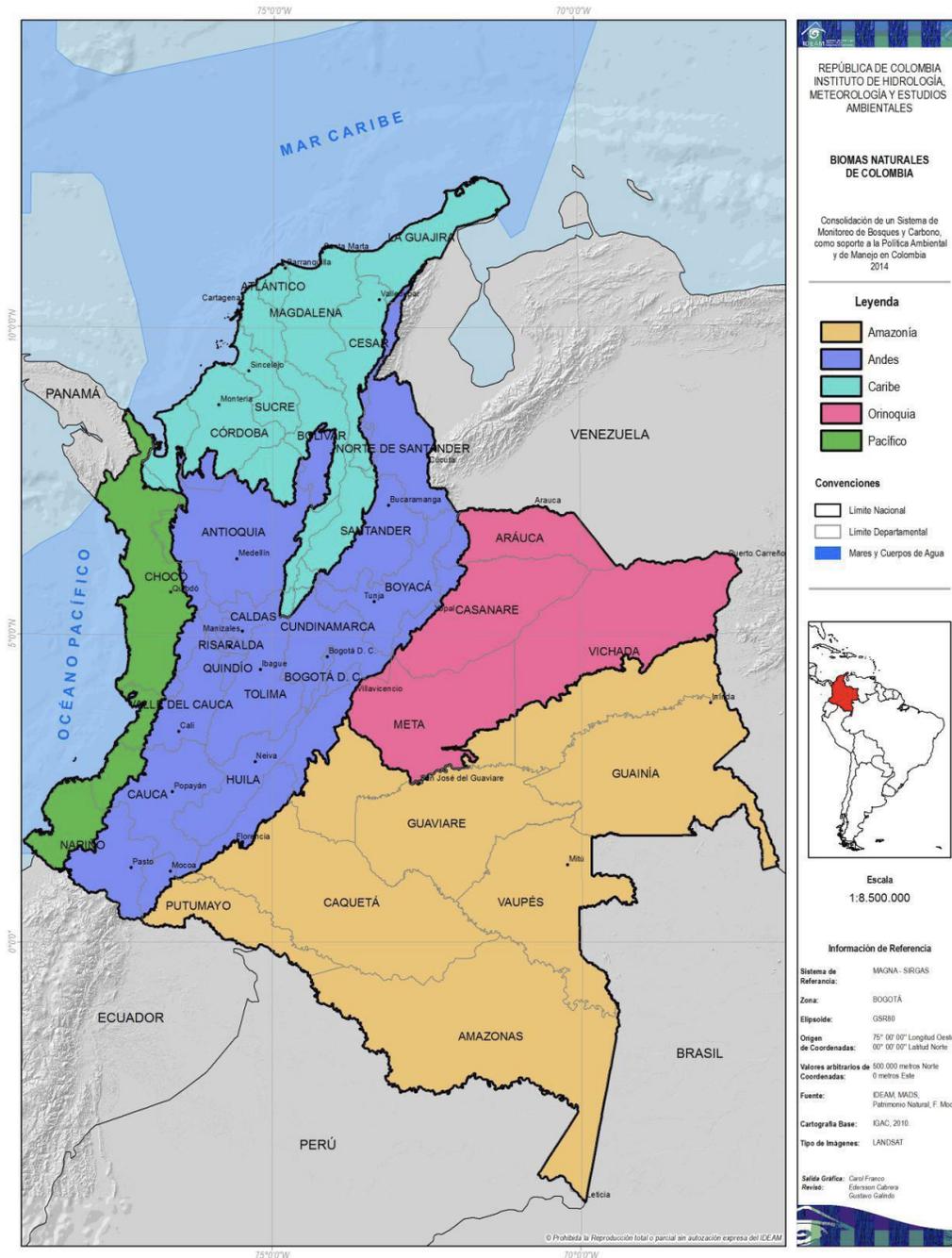
**Región Amazónica:** el límite noroccidental corresponde al denominado piedemonte entre los 400-500 msnm donde convergen elementos andinos y tropicales de la Amazonía y Orinoquía; el límite nororiental corresponde al límite norte de distribución del bosque amazónico con las sabanas de la Orinoquía; y al oriente y sur hasta las fronteras internacionales con la República Bolivariana de Venezuela, República Federativa de Brasil, República del Perú y República del Ecuador.

**Región Orinoquía:** el límite occidental corresponde al denominado piedemonte de la cordillera Oriental entre los 400 - 500 msnm donde convergen elementos andinos y tropicales de la Amazonía y Orinoquía; el límite sur corresponde al límite de la región amazónica con las sabanas de la Orinoquía; y al oriente y norte hasta la frontera internacional con la República Bolivariana de Venezuela.

**Región Andina:** el límite inferior corresponde al piedemonte de las cordilleras Occidental, Central y Oriental en Colombia, entre los 400 - 500 msnm, hacia el lado Oriental convergen elementos andinos y tropicales de la Amazonía y la Orinoquía, hacia el lado occidental colinda con la región del Pacífico y Magdalena medio. Hacia el norte colinda con la región Caribe. Dentro de su límite se incluyen los valles interandinos, donde generalmente se localizan enclaves de ecosistemas secos.

**Región Pacífica:** el límite occidental corresponde al litoral costero del Océano Pacífico en Colombia, el límite oriental corresponde al denominado piedemonte de la cordillera Occidental entre los 400 - 500 msnm donde convergen elementos andinos y tropicales del Pacífico y Magdalena medio. El límite sur corresponde a la frontera internacional con la República del Ecuador y el límite noroccidental corresponde a la frontera internacional con la República de Panamá.

Figura 1. Mapa de regiones naturales de Colombia



Fuente: IDEAM, 2014

**Región Caribe:** el límite Norte corresponde al litoral costero del Mar Caribe en Colombia, el límite oriental corresponde al denominado piedemonte de la Serranía del Perijá y la Cordillera Oriental entre los 400-500 msnm donde convergen elementos andinos y

tropicales del Magdalena medio. El límite sur corresponde al límite norte de la región andina.

**Territorio insular:** como parte del proceso de mejoramiento técnico, el presente NREF incorpora el territorio insular, el cual comprende el conjunto de islas de tipo continental y oceánico. Son islas continentales los archipiélagos de San Bernardo y del Rosario, isla Fuerte, Tortuguilla, Barú y Tierra Bomba. Por su parte, de tipo oceánico son el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el mar Caribe y las islas de Gorgona, Gorgonilla, El Gallo, El Morro y Malpelo en el océano Pacífico (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2008). Para efectos del presente nivel de referencia, las islas del Caribe colombiano se anexionan a la región Caribe mientras que Gorgona y Malpelo se integran a la región del Pacífico.

### 3. CONTEXTO NACIONAL

El territorio colombiano se localiza en el extremo noroccidental de América del Sur ocupando aproximadamente el 6,4% de la superficie de éste subcontinente. Geográficamente, se ubica entre los 4° 13' de latitud sur y los 16° 10' de latitud norte; y entre los 66° 50' y 84° 46' de longitud oeste. Abarca una superficie total de 2.070.408 km<sup>2</sup> del cual el 55% corresponde a su área continental y el 45% restante comprende su extensión marítima (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2011). En 2022, la población estimada superaba los 51,6 millones de habitantes, de los cuales el 76% se encontraba en las áreas urbanas y el 24% en áreas rurales (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2023).

Colombia es un país forestal tropical, el segundo con la mayor diversidad biológica del mundo y el tercero de Sudamérica con mayor área de cobertura en cuanto a bosques tropicales se refiere, representando el 5,23% de la oferta total para América del Sur Tropical. Para el año 2022, contaba con 59,3 millones de hectáreas de bosque natural que representan el 52% del área total de la superficie continental e insular del país, y lo convierten en el tercer país de Suramérica con mayor área en bosques naturales.

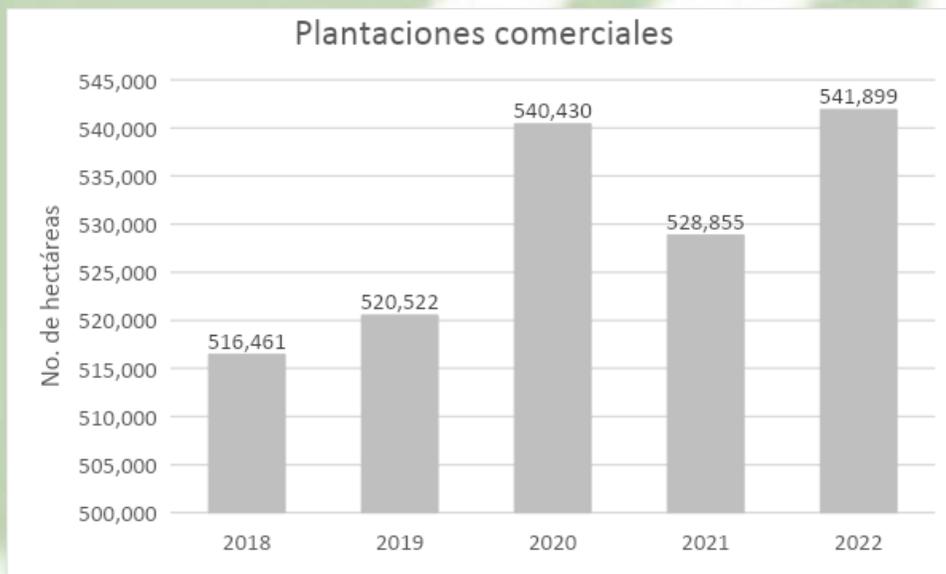
En 2020, el país presentó un descenso en su PIB de -7,3% como consecuencia de los efectos económicos asociados a la pandemia de COVID-19 y, posteriormente, experimentó un crecimiento económico del 11% en 2021 respecto del año inmediatamente anterior. En este contexto, el sector de agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca presentó un crecimiento del 3,1%.

La distribución de los bosques nacionales por regiones biogeográficas señala que el 66% de ellos hacen parte de la región amazónica, seguido de la región andina con el 18%, el Pacífico con el 9%, la Orinoquía con el 4% y la región Caribe con el 3% restante. El Sistema Nacional de Parques Naturales Nacionales (SPNN) cubre una extensión que comprende el 21% del territorio continental e insular de Colombia y, el mismo alberga 12,3 millones de hectáreas de bosque lo que corresponde al 20,6% de la superficie total de bosques de Colombia. En cuanto a la tenencia de la tierra, el 42,5% pertenece a privados, el 30,1% se

encuentran tituladas a comunidades étnicas y otras minorías, el 11,5% corresponden a terrenos baldíos y otras tierras que pertenecen al estado, el 10% pertenecen al sistema de áreas protegidas y el restante 5,9% lo ocupan los centros urbanos (López, 2020). No obstante, estas cifras serán objeto de ajuste y precisión cuando se efectué la actualización predial correspondiente mediante la adopción del catastro multipropósito, dado que hasta enero de 2019 menos del 6% del total de predios contaban con información catastral actualizada y se espera que el 100% de estos hayan alcanzado esta condición en 2025 (Departamento Nacional de Planeación, 2019).

A diciembre de 2022, y según los registros del Ministerio de Agricultura, el país tenía 541.899 hectáreas de plantaciones forestales comerciales establecidas, una variación del 4,9% respecto a 2018 y un aumento del 2,4% respecto al año 2021 (Figura 2), lo anterior se debió al proceso de aprovechamiento de algunas plantaciones ya maduras en 2021 lo que redujo paulatinamente su extensión durante dicho año (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023a).

**Figura 2. Hectáreas sembradas en plantaciones forestales comerciales para el periodo 2018 - 2022<sup>1</sup>**



**Fuente:** Adaptado de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023

<sup>1</sup> Es importante precisar que los datos acá presentados, pueden diferir del reporte de inventarios de gases de efecto invernadero (INGEI) presentados por Colombia en los Reportes Bienales de Actualización y próximos Reportes Bienales de Transparencia ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, teniendo en cuenta que en este, se hace una reconstrucción de la serie histórica (1990-2022) incluyendo información de áreas de plantaciones que ya fueron aprovechadas de acuerdo a los registros del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y que no son contemplados en las cifras actuales reportadas en el Boletín estadístico. Esto teniendo en cuenta que el Ministerio busca dar una cifra de las plantaciones forestales comerciales existentes a la fecha del reporte y el INGEI busca reportar las emisiones anuales por la pérdida y ganancia de áreas en cada año para toda la serie histórica.

La distribución geográfica de estas plantaciones indica que el 41% de las hectáreas plantadas se encuentran en la región Andina, el 34% en la Orinoquía, el 15% en la región Pacífica, el 10% en el Caribe y menos del 1% en la Amazonía. De igual forma, el 81% de las hectáreas plantadas corresponden a especies exóticas y el 19% restante a nativas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023a). Tomando como referencia el periodo 2019 – 2022, se puede inferir que el volumen promedio anual de productos maderables y no maderables es de más de 3 millones de metros cúbicos de los cuales, el 79% procede de las plantaciones comerciales y el 21% restante del bosque natural (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023a).

La cadena de valor del sector silvícola y de extracción de madera ha experimentado un crecimiento sostenido de aproximadamente 7% promedio anual durante el periodo 2005 – 2022 pasando de 0,85 a 3,72 billones, lo que implica una participación del 3,07% dentro del sector de agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca. En cuanto a la balanza comercial del sector de maderas y muebles, tanto las importaciones como las exportaciones presentaron variaciones positivas en el periodo 2021 – 2022 creciendo un 23,8% y 1,9%, respectivamente; sin embargo, la balanza comercial del sector sigue manteniendo un comportamiento deficitario (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023a). Se estima que para 2021, se generaron 0,32 millones de pesos por cada tonelada consumida de insumos naturales del bosque derivada de esta actividad económica (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2023).

Por otra parte, la leña representó el 67,2% de los productos forestales maderables del año 2021 lo que implicaba una extracción de 5,7 millones de toneladas que procedían tanto del bosque como de otras fuentes de abastecimiento (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2023).

### **3.1. Estrategia Nacional REDD+: Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques – EICDGB “Bosques Territorios de Vida”**

La EICDGB<sup>2</sup> responde a las provisiones emanadas de la Decisión 1/CP. 16, pero en particular, de lo indicado en el párrafo 71 en lo concerniente a desarrollar una estrategia nacional o un plan de acción sobre REDD+. Después de un amplio proceso de consultas y de concertación con pueblos indígenas, comunidades étnicas y campesinas, ésta estrategia fue adoptada en diciembre de 2017, con el propósito de fijar el derrotero que el Estado colombiano debería seguir para combatir la deforestación. La EICDGB (2017) establece cinco metas a 2030:

. La EICDGB (2017) establece cinco metas a 2030:

- Alcanzar la deforestación bruta cero.
- Aumentar la calidad de vida de las poblaciones locales en áreas forestales.
- Fortalecer la gobernanza territorial de los grupos étnicos, comunidades campesinas y rurales que dependen de los bosques.

<sup>2</sup> Disponible en: [https://redd.unfccc.int/files/eicdgb\\_bosques\\_territorios\\_de\\_vida\\_web.pdf](https://redd.unfccc.int/files/eicdgb_bosques_territorios_de_vida_web.pdf)

- Lograr una reducción de 32,4 millones de toneladas de CO<sub>2eq.</sub> por deforestación evitada.
- Registrar una balanza comercial positiva del sector forestal.

La Estrategia se fundamenta en cinco objetivos, los cuales definen su marco de acción:

- Consolidar la gobernanza territorial de los grupos étnicos, comunidades campesinas y rurales, y fortalecer la conciencia ciudadana, a través de la gestión de información y conocimiento para consolidar una cultura de corresponsabilidad para el cuidado y aprovechamiento sostenible de los bosques.
- Fomentar una economía forestal basada en los bienes y servicios de los bosques para el desarrollo integral y el cierre de la frontera agropecuaria.
- Disminuir la degradación y deforestación a través de la gestión transectorial de la política y normativa para el ordenamiento ambiental y territorial.
- Generar información confiable, consistente, oportuna y de calidad sobre la oferta, estado, presión y dinámica del recurso forestal, como soporte a procesos de toma de decisiones a nivel nacional, regional y local, permitiendo implementar acciones de control y seguimiento a las autoridades ambientales para una administración eficiente del recurso forestal del país.
- Realizar los ajustes institucionales, normativos y financieros que doten al Estado de los instrumentos necesarios para la gestión de los bosques y la efectiva reducción y control de la deforestación en Colombia.

Adicionalmente, y en su esfuerzo por detener la pérdida de cobertura forestal en el territorio nacional, el Estado colombiano ha emprendido diferentes acciones y medidas en el marco de la implementación de la EICDGB, entre las que se destacan las siguientes:

- ***Declaración Conjunta de Intención – DCI***

En el marco de la vigésimo primera Conferencia de las Partes de la CMNUCC (COP-21) realizada en París en 2015, Colombia suscribió una alianza con Alemania, Noruega y el Reino Unido para reducir la deforestación neta en la Amazonía colombiana, la cual se ha desarrollado en dos fases: la primera (DCI original) que comprendió el periodo 2015 – 2019 y la segunda (DCI renovada) que se encuentra actualmente en ejecución cobijando el periodo 2020 – 2025 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

La DCI se fundamenta en dos modalidades de colaboración: la modalidad I que corresponde al diseño e implementación de 63 hitos de política pública que contribuyen con los objetivos trazados por esta alianza y la modalidad II que implica la reducción de emisiones verificadas debidas a REDD+ para optar a pago por resultados. El balance de esta primera fase indica que Colombia avanzó en el cumplimiento del 76% de los hitos establecidos en la modalidad I y, en lo que respecta a la modalidad II, el país redujo la deforestación en la región amazónica

por debajo de su primer NREF de alcance subnacional para el periodo comprendido entre 2013 – 2016.

Durante la vigesimoquinta Conferencia de las Partes (COP-25) llevada a cabo en Madrid en 2019, los cuatro gobiernos acordaron una renovación de la DCI la cual contempla un marco de actuación hasta el año 2025 y persigue como objetivo lograr una reducción significativa de las emisiones de GEI por deforestación y degradación forestal mediante la inclusión de nuevos hitos de política e intervenciones con enfoque territorial, además de alentar la conservación de los bosques mediante incentivos y otros instrumentos de financiamiento (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

- **Programa Visión Amazonía**

Se constituye en el primer programa nacional REDD+ el cual fue implementado en la región amazónica colombiana, bajo la titularidad del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. El programa ha sido una iniciativa del gobierno colombiano quien ha contado con el apoyo de los gobiernos de Noruega, Alemania y Reino Unido, los cuales han reconocido los esfuerzos del país por reducir la deforestación a través de un esquema de pago por resultados. Durante los 5 años que operó la iniciativa REM (REDD Early Movers) en su primera versión, el financiamiento fue cercano a US \$61 millones. En enero del 2022 se concertó entre la Mesa Regional Amazónica (MRA) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el desarrollo de la consulta previa del programa y desde diciembre del 2022 se encuentra desarrollando la fase de aprestamiento de la segunda fase de REM.

Visión Amazonía fundamenta su estrategia de intervención en el territorio en cinco pilares: gobernanza forestal, desarrollo sectorial sostenible, desarrollo agroambiental, gobernanza ambiental con pueblos indígenas y condiciones habilitantes. Lo anterior ha permitido obtener importantes resultados en materia de reducción de la deforestación en la región amazónica.

- **Iniciativa Pago por Resultados Colombia REDD+ (GCF FAO)**

Cimentado en el Programa Visión Amazonía, la iniciativa de Pago por Resultados Colombia REDD+ 2015-2016 cuenta con el financiamiento del Fondo Verde del Clima (GCF por sus siglas en inglés), la implementación se realiza a través de la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), y tiene como propósito contribuir con la reducción de la deforestación en la región amazónica en el marco de la implementación de la Estrategia Nacional REDD+ (Estrategia Integral de Control a la Deforestación y la Gestión de Bosques - EICDGB).

Esta iniciativa refuerza las intervenciones hechas por el Programa Visión Amazonía a través del fortalecimiento del monitoreo y control del territorio, la

gobernanza territorial y las capacidades de los pueblos indígenas y comunidades campesinas, con relación al manejo forestal sostenible y cierre de la frontera agropecuaria (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). Su implementación implica una inversión de 28,2 millones de dólares, cuya ejecución comenzó en 2022 y se extenderá hasta 2025.

- **Proyecto Biocarbón Orinoquía – Paisajes sostenibles bajos en carbono**

Esta iniciativa co - implementada entre el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en trabajo conjunto con el IDEAM y la Unidad de Planeación Rural y Agropecuaria (UPRA) y asesorada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y la Agencia Presidencial para la Cooperación Internacional (APC); busca identificar y desarrollar alternativas que permitan contribuir con la mejora de las condiciones para la planificación y producción agropecuaria sostenible, con el fin de garantizar la disminución en las emisiones de GEI. Uno de sus objetivos específicos contempla la planeación y ordenamiento integrales del territorio y el mejoramiento de la gobernanza para el control de la deforestación (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023b).

El proyecto cuenta con el auspicio del Banco Mundial con recursos del Fondo Biocarbón, a partir de la implementación de la metodología de Iniciativas sobre Paisajes Forestales Sostenibles (ISFL por su traducción en inglés) y su ejecución gira en torno a tres componentes: a) la planeación integral y uso del suelo y gobernanza mejorada para el control de la deforestación, b) el uso y manejo sostenible del suelo y c) la definición del programa de reducción de emisiones (PRE) y del monitoreo, reporte y verificación.

Como iniciativa de mitigación de GEI<sup>3</sup>, cuenta con dos componentes: un Programa de Desarrollo Bajo en Carbono (PDBC) agropecuario que cubre las cadenas agropecuarias de arroz, cacao, palma de aceite, marañón, ganadería bovina y plantaciones forestales y un Programa REDD+ para contribuir con la reducción de la deforestación de bosques naturales. Durante el 2023, el Proyecto Biocarbón Orinoquía publicó su Programa de Reducción de Emisiones y obtuvo su validación y verificación de tercera parte para optar a pagos por resultados por disminuir las emisiones del sector AFOLU en esta región del territorio nacional.

- **Iniciativas de mitigación de GEI bajo el mecanismo REDD+ del mercado voluntario de carbono**

La expedición del Decreto 926 de 2017 catalizó el desarrollo de proyectos REDD+ en el territorio nacional debido al crecimiento en la demanda de reducción de emisiones de GEI como mecanismo alternativo al pago del impuesto al carbono. El número de proyectos registrados en la plataforma del RENARE, con corte a

<sup>3</sup> Según lo dispuesto en la Resolución 1447 de 2018: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/15.-Resolucion-1447-de-2018.pdf>

agosto de 2022, era de 103 iniciativas, la mayor parte de ellas concentradas en las regiones Amazónica y Pacífica en donde se encuentra la mayor superficie de bosque natural del país.

Hasta dicha fecha, en el país se habían transado 81,9 MtCO<sub>2</sub> eq. bajo el mecanismo de la no causación del impuesto al carbono, de las cuales, cerca del 40% procedían de proyectos REDD+ ubicados en el territorio nacional (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

### **3.2. CONPES 4021 – Política Nacional para el Control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques**

Los CONPES constituyen documentos de política pública que tienen como propósito solucionar problemáticas de carácter transversal que resultan estratégicos para el desarrollo económico y social del país. Considerando la naturaleza multisectorial de las causas de la deforestación y la degradación forestal, el Consejo Nacional de Política Económica y Social expidió en diciembre de 2020, la Política Nacional para el Control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques (denominado de forma abreviada como CONPES 4021). Esta política tiene como objetivo la implementación de estrategias transectoriales para el control de la deforestación y la gestión de los bosques para impulsar el uso sostenible del capital natural, la economía forestal y el desarrollo comunitario en las áreas de mayor deforestación (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2020). Su marco de acción adopta los lineamientos de la Estrategia Integral de Control a la Deforestación y la Gestión de Bosques, los cuales convergen en cuatro objetivos:

- Consolidar alternativas sostenibles de producción, conservación y recuperación de los bienes y servicios ecosistémicos de los bosques para el desarrollo rural y la estabilización de la frontera agropecuaria.
- Mejorar la articulación transectorial y la armonización de los instrumentos de planificación sectorial, territorial y ambiental para el control de la deforestación y la gestión de los bosques.
- Fortalecer las capacidades institucionales en materia de prevención, investigación y judicialización para mejorar el control de las economías ilegales que promueven la deforestación.
- Mejorar la gestión de la información sobre el estado y presiones del recurso forestal, como soporte para el desarrollo de acciones orientadas a la administración y gestión sostenible de los bosques del país.

El plan de acción de esta política tiene un periodo de ejecución de 10 años (2021 – 2030) y comprende cuatro (4) estrategias, doce (12) líneas de acción y cincuenta y seis (56) medidas implementables con responsables asignados de los diferentes sectores

económicos, además de plazos de ejecución y recursos requeridos. A junio de 2023, el avance de cumplimiento de las medidas era del 40%<sup>4</sup>.

### 3.3 Contribución Determinada a Nivel Nacional – NDC (Actualización 2020)

La NDC de Colombia, presentada ante la CMNUCCC en diciembre de 2020, comunicó como parte de la meta de mitigación del país su compromiso en emitir como máximo 169,44 millones de tCO<sub>2</sub> eq. en 2030, lo que es equivalente a una reducción del 51% de las emisiones respecto a la proyección en el escenario de referencia.

En este escenario, el sector AFOLU representó más del 50% de las emisiones nacionales proyectadas, de las cuales, las emisiones por deforestación tienen una participación del 25,2%. Para construir esta proyección se empleó el Nivel de Referencia Nacional de Emisiones Forestales presentado a la CMNUCC en 2020, incluyendo las circunstancias nacionales.

Dicha NDC contempla como parte del portafolio de mitigación, medidas de reducción directamente relacionadas con el sector forestal tales como: el desarrollo y consolidación de la cadena productiva de las plantaciones forestales con fines comerciales como contribución a la captura de GEI, la restauración ecológica que busca acelerar el proceso de restablecimiento de áreas de ecosistema boscoso en línea con el plan nacional de restauración, y la reducción intersectorial de la deforestación.

Así mismo, se incluyen acciones orientadas a la masificación de soluciones basadas en la naturaleza en áreas boscosas y ecosistemas degradados para la conservación, dentro de las cuales se incluyen acciones de restauración ecológica, recuperación, rehabilitación, protección y uso sostenible de los ecosistemas y aquellas que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible considere compatibles, con énfasis en productos no maderables del bosque. Estas acciones como mínimo apuntarán a la restauración de por lo menos un millón de hectáreas acumuladas a 2030.

Por su parte, el portafolio de adaptación contempló medidas relacionadas con la gestión del riesgo de los incendios forestales (IF), a través de la implementación de siete (7) estrategias enfocadas en:

- La verificación de incendios forestales.
- Modelación para la identificación de los ecosistemas sensibles a este tipo de eventos.
- Monitoreo de áreas afectadas por incendios.
- Corresponsabilidad en la lucha contra los incendios forestales.
- Fortalecimiento institucional.
- Armonización y actualización de instrumentos de gestión de incendios forestales.

---

<sup>4</sup> Debe señalarse que el seguimiento al CONPES 4021 se efectúa con una periodicidad semestral durante todo el periodo de implementación de la política. El avance de cumplimiento es medido contra el total de acciones contemplada por la política por el Departamento Nacional de Planeación.

En línea con lo establecido en la NDC y la expedición de la Ley 2169 de 2021, Colombia se encuentra formulando el nivel del presupuesto de carbono nacional, el cual cuenta con consideraciones que incluyen el nivel del presupuesto global de carbono y presupuesto remanente de CO<sub>2</sub>, así como el aporte de gases no-CO<sub>2</sub> como el metano al incremento de temperatura, esto en línea con la meta nacional de reducción de emisiones.

Al ser el presupuesto de carbono un ejercicio de carácter nacional y que busca reflejar la distribución del presupuesto global remanente basado en la mejor ciencia disponible y su alineación con trayectorias de reducción de emisiones construidas bajo diferentes enfoques de análisis y alcances, no incluirá en la primera publicación una desagregación sectorial, incluyendo el componente forestal.

La gestión forestal, dentro del marco de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), no solo representa un componente clave en la lucha contra el cambio climático, sino también, una oportunidad para priorizar la justicia social, el respeto a los derechos humanos, la promoción de la paz positiva<sup>5</sup> y la seguridad humana. Este enfoque integral reconoce la estrecha interconexión entre la salud de los ecosistemas forestales y el bienestar de las comunidades que dependen de ellos, por ello, se avanza en la transversalización de estos enfoques en el portafolio de medidas de la NDC de Colombia.

Desde la perspectiva de paz positiva, se destaca la importancia de la colaboración transversal entre diferentes sectores y partes interesadas en la gestión forestal. La cooperación efectiva no solo aborda los aspectos ambientales de la gestión, sino que también considera las dimensiones sociales y económicas.

#### 4. DEFINICIÓN DE BOSQUE

La definición de bosque adoptada por Colombia corresponde a:

*“Tierra ocupada principalmente por árboles que puede contener arbustos, palmas, guaduas, hierbas y lianas, en la que predomina la cobertura arbórea con una densidad mínima de dosel de 30%, una altura mínima del dosel (in situ) de 5 metros al momento de su identificación, y un área mínima de 1,0 ha. Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales, cultivos de palma, y árboles sembrados para la producción agropecuaria.*

Esta definición es consecuente con los criterios definidos por la CMNUCC en su decisión 11/CP.7, con la definición adoptada por Colombia ante el Protocolo de Kioto (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2002), así como con la definición de la cobertura de bosque natural utilizada para la estimación y reporte del Inventario Nacional

---

<sup>5</sup> Este término comprende un concepto que concibe la paz como una apuesta para canalizar acciones y esfuerzos tanto en procura de la solución de conflictos, como en la mejora de la calidad de la vida de la población, la atención de las necesidades humanas básicas, y el disfrute efectivo de los derechos humanos.

de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), y la incluida en la adaptación para Colombia de la leyenda de la metodología CORINE Land Cover Colombia (CLC).

Se debe indicar que para efectos de otros reportes presentados por el país relacionados con el sector forestal y de uso del suelo (FOLU), se utiliza el término “*tierras forestales*”, el cual tiene un cubrimiento más amplio en cuanto a coberturas arbóreas dado que ello implica otras formaciones vegetales leñosas no consideradas como bosques naturales.

## 5. ACTIVIDADES REDD+ INCLUIDAS

El presente NREF para Colombia, incluye las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la deforestación, y se considera la inclusión de la degradación forestal como actividad REDD+ adicional, lo cual constituye una mejora técnica con respecto al NREF 2018-2022. A continuación, se presentan las definiciones de deforestación y degradación acogidas por el país:

### 5.1. Deforestación

Esta actividad se define como la conversión directa y/o inducida de la cobertura de bosque a otro tipo de cobertura de la tierra en un periodo de tiempo determinado (DeFries *et al.*, 2006; GOFC – GOLD, 2008). La deforestación constituye la actividad más predominante en término de emisiones de GEI del sector forestal y de uso del suelo (FOLU) en Colombia. En las últimas dos décadas el país ha perdido cerca de 3,3 millones de hectáreas, que representan una extensión de casi el 2,9% del territorio continental.

Para el presente NREF, Colombia mantiene el enfoque de reportar las emisiones asociadas a la deforestación bruta, es decir, no considera la cobertura vegetal emergente post-deforestación.

### 5.2. Degradación forestal

Esta actividad REDD+ se define como un cambio permanente o temporal en la cobertura forestal que no cae por debajo de los umbrales de la definición de bosque. El Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC), el cual es liderado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), ha realizado diferentes esfuerzos encaminados a establecer una metodología que permita estimar la degradación de manera costo efectiva y con un bajo nivel de incertidumbre.

## 6. SUMIDEROS INCLUIDOS

Para los datos de actividad por degradación, el presente Nivel de Referencia de Emisiones Forestales para Colombia, incluye los sumideros “Biomasa aérea - BA”, “Biomasa subterránea - BS” para las estimaciones de emisiones por degradación; mientras que para las emisiones por deforestación se incluyen los sumideros “Biomasa aérea - BA”, “Biomasa subterránea - BS”, “Carbono Orgánico contenido en el suelo - COS”, Detritos de Madera - DFM y DGM” y “Árboles Muertos en Pie y Tocones Muertos - MPyTM”. Los factores de emisión de la biomasa aérea y subterránea y la contenida en los suelos

consiste en el contenido de carbono por hectárea en la biomasa aérea y subterránea (raíces), medidos en toneladas de carbono por hectárea ( $tC\ ha^{-1}$ ), para los tipos de bosque de las cinco regiones que en Colombia cubre el NREF.

## 7. GASES INCLUIDOS

El presente NREF solo considera el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) para efectos de las emisiones proyectadas.

## 8. CONSTRUCCIÓN DEL NIVEL DE REFERENCIA DE LAS EMISIONES FORESTALES NACIONALES

### 8.1. Escala

El alcance del presente NREF es nacional. El Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono implementa una metodología que integra herramientas de preprocesamiento y procesamiento semi-automatizado de imágenes de satélite para detectar y cuantificar los cambios en la extensión de la cobertura de bosques a nivel nacional a escala 1:100.000, de manera que sea posible identificar las pérdidas de área de esta cobertura por deforestación (Galindo *et al.*, 2014).

### 8.2. Periodo de Referencia

Al igual que su NREF precedente (periodo 2018 – 2022), Colombia mantiene el criterio de proyectar su NREF para el periodo 2023 – 2027, considerando un periodo de referencia de diez años consecutivos. Para efectos del presente ejercicio, se evalúa tanto la deforestación observada como la degradación forestal correspondiente a la temporalidad 2013 – 2022. Debe señalarse que el país adopta la decisión de proyectar la tendencia de deforestación sobre una base quinquenal, en virtud de lo establecido en el artículo 21º de la Resolución 1447 de 2018.

### 8.3 Proyección del NREF

La proyección del NREF comprende un periodo quinquenal desde el año 2023 hasta el 2027. Como se indicó en el numeral 8.2, mediante la Resolución 1447 de 2018, se determinó que el periodo de vigencia de esta proyección no debería ser menor de cinco años.

### 8.4 Datos de Actividad

La CMNUCC durante las Conferencias de las Partes de 2009 y 2010 (COP 15 y 16, respectivamente), y en Varsovia (COP19), instó a los países en desarrollo a establecer sistemas nacionales de monitoreo forestal que permitan cuantificar las emisiones / absorciones de GEI y los cambios en la superficie de los bosques y las reservas forestales de carbono. Como una mejora técnica respecto del anterior nivel referencia, además de la deforestación, se incorpora la degradación forestal estimada para todo el territorio nacional.

La construcción del NREF se basa en la información generada por el SMByC y el Inventario Forestal Nacional (IFN), liderado por el IDEAM, bajo las directrices del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y consecuente con las decisiones de la CMNUCC y las orientaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Específicamente para la obtención de los datos de actividad, se utilizan los mapas bienales de cambios en la cobertura de bosque, resultado obtenido del monitoreo bienal de la cobertura de bosque desde el año 2000 hasta el 2012 y de manera anual a partir del año 2013.

En los siguientes numerales se ofrece una explicación detallada sobre el abordaje metodológico para generar los datos de actividad de ambas actividades REDD+.

#### **8.4.1 Aspectos metodológicos para la generación de datos de actividad por deforestación**

El SMByC desarrolló el "*Protocolo para el procesamiento digital de imágenes para la generación de información sobre la distribución, extensión y cambios en la cobertura boscosa en Colombia*" (Galindo et al. 2014). Este protocolo se implementa a través de la utilización de imágenes provenientes del programa satelital LANDSAT descargadas de manera gratuita del servidor del Earth Resources Observation and Science Center (EROS) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), dada la disponibilidad histórica, la resolución temporal y espacial para el monitoreo de la cobertura boscosa, facilidad de acceso a los datos y posibilidades de permanencia de dicho programa<sup>6</sup>.

El protocolo incluye cuatro grandes fases asociadas al tratamiento de los datos satelitales para la generación de los datos de actividad a saber: i) el **pre-procesamiento digital de imágenes de satélite**; ii) el **procesamiento digital de imágenes**; iii) **la validación de los datos**; y iv) el **reporte de los datos de actividad**. Estas fases se resumen en 13 pasos metodológicos, que se describen a continuación.

##### *8.4.1.1 Preprocesamiento digital de imágenes de satélite*

En esta fase se aplican correcciones, calibraciones y normalizaciones radiométricas, asegurando el co-registro exacto y la reducción de efectos atmosféricos, permitiendo así que las imágenes sean realmente comparables y los cambios detectados no se deban a este tipo de factores. A continuación, se describen los pasos que forman parte del pre-procesamiento.

#### **a. Paso 1: selección y descarga de imágenes**

Para cada año de referencia, el SMByC descarga todo el catálogo de imágenes del programa satelital Landsat (7 ETM+ y OLI 8) del nivel L1T (superficie de reflectancia) y se seleccionan todas aquellas imágenes con menos del 90% de cobertura de nubes, y con una ventana temporal entre el 1 de enero y el 31 de diciembre del año de referencia, asegurándose que todas las imágenes del último trimestre del año sean

<sup>6</sup> La descripción detallada del proceso metodológico para la generación de la información de los cambios en la superficie de bosque se encuentra disponible en: <https://tinovurl.com/umab3td>

descargadas y procesadas. A través de la generación de compuestos temporales anuales de imágenes, se excluyen de cada imagen todos los píxeles de “nubes” y “sombras de nubes”. Estos compuestos permiten identificar la superficie de bosque y sus cambios en el año de referencia.

Para el caso de píxeles afectados desde 2003 por el fallo en el Scan Line Corrector de Landsat 7 ETM+, se eliminan aplicando un enmascaramiento. Para optimizar esta tarea el SMByC desarrolló una herramienta implementada en QGIS<sup>7</sup>.

Cuando los datos Landsat no proveen una cobertura libre de nubes suficiente, se utilizan imágenes de los sensores CBERS, RapidEye, ASTER y Sentinel 2.

### **b. Paso 2: apilamiento de bandas**

Con el fin de archivar las imágenes completas, se reconstruye cada imagen mediante la unión de todas las bandas descartando las que corresponden a la longitud de onda del infrarrojo térmico. En el caso de Landsat 8 OLI las capas de Aerosoles y Cirrus son también excluidas.

Dada la gran cantidad de imágenes (p.e. para el año 2015 se utilizaron 589 imágenes), se han desarrollado algoritmos para facilitar la manipulación y procesamiento, disponibles para descarga:

- Algoritmo para apilar las bandas: (<https://smbyc.github.io/StackComposed/>)
- Algoritmo para renombrar las imágenes de acuerdo a la estructura del SMByC: ([https://smbyc.bitbucket.io/scripts/rename\\_landsat/](https://smbyc.bitbucket.io/scripts/rename_landsat/))
- Algoritmos para extraer la información de los archivos de metadatos de Landsat: ([https://smbyc.bitbucket.io/scripts/extract\\_landsat\\_files/](https://smbyc.bitbucket.io/scripts/extract_landsat_files/))

### **c. Paso 3: corrección geométrica**

Para la construcción de los compuestos anuales de imágenes, se requiere tener un co-registro exacto a nivel de pixel entre todas las imágenes adquiridas para cada escena. Los productos LIT suministrados por el *Earth Resources Observation and Science Center* (EROS) suelen tener una correspondencia exacta de los píxeles. Sin embargo, antes de realizar la interpretación se realiza una revisión de cada imagen y se ajustan aquellas que no cumplan esta condición.

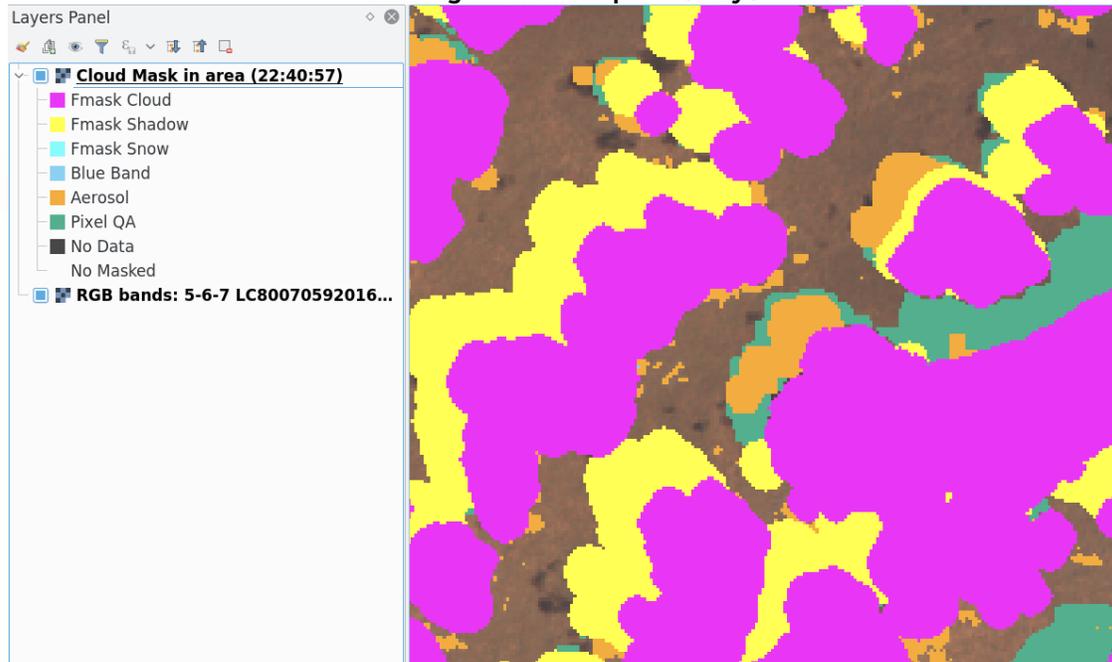
### **d. Paso 4: enmascaramiento de nubes y sombra**

Permite enmascarar y eliminar las áreas de nubes, bandeamiento, sombras o bruma; se ejecuta un procedimiento semi-automatizado que combina los resultados de las máscaras producidas con diferentes herramientas y que se ejecuta antes de realizar el análisis de cambios. Aplicando una serie de filtros de enmascaramiento implementados por el IDEAM (Qgis Plugin CloudMasking:

<sup>7</sup> <https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/cloudmasking/>

<https://github.com/SMByC/StackComposed-Qgis-processing/>) como se ve en la Figura 3<sup>8</sup>.

**Figura 3. Ejemplo de los filtros disponibles para el enmascaramiento de nubes en la herramienta Cloud Masking desarrollada por el SMByC**



#### **e. Paso 5: normalización radiométrica**

Realiza un proceso de normalización radiométrica relativa de las imágenes en el cual se ajustan los valores radiométricos de forma que se reduzca la variabilidad entre las imágenes debidas a diferencias atmosféricas, de iluminación, calibración del sensor, distorsiones geométricas, entre otras, permitiendo así que las imágenes de los diferentes años sean comparables y los cambios detectados no se deban a este tipo de factores (Olthof *et al.* 2005, Potapov *et al.* 2012). Para ejecutar este procedimiento se cuenta con scripts en Python (ARRNorm - <https://github.com/SMByC/ArrNorm>).

#### **f. Paso 6: obtención del compuesto de imágenes**

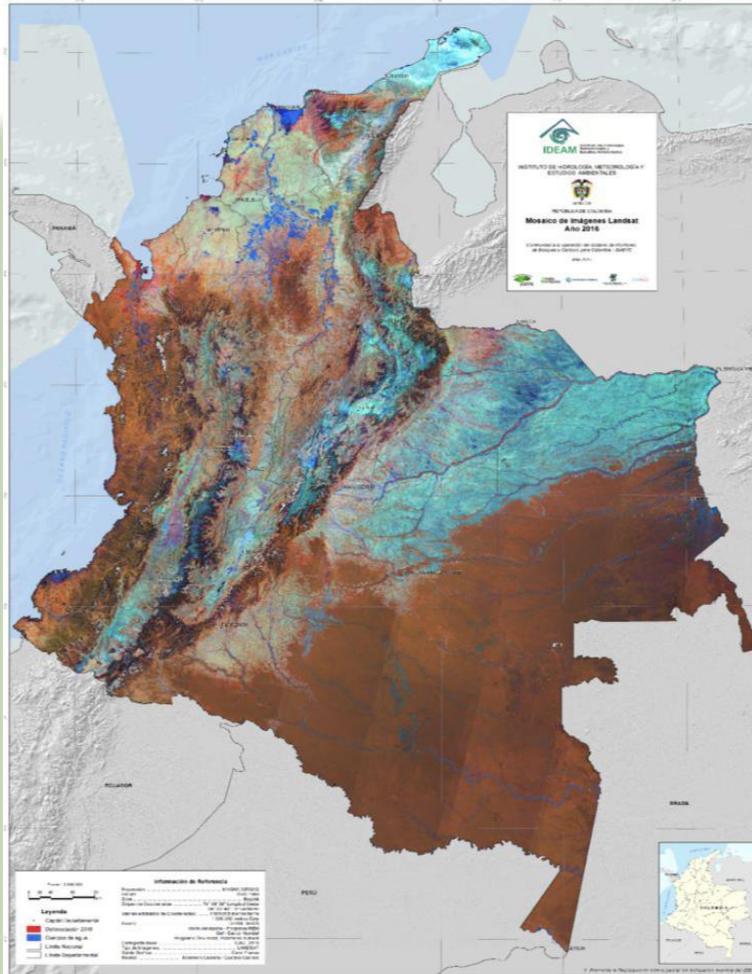
En este proceso se emplean todas las imágenes disponibles para Colombia del año correspondiente, de tal forma que, para cada unidad de observación (pixel) se tiene una serie de tiempo anual con todos los datos de superficie de reflectancia válidos para ese año. La principal métrica generada es la mediana anual de cada banda espectral, estadístico que ha mostrado buenos resultados para la detección de

<sup>8</sup> Para una documentación adicional sobre el funcionamiento de la Herramienta Cloud Masking ver:

[https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/cloudmasking/cloud\\_filters/](https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/cloudmasking/cloud_filters/)

cambios; de esta forma para cada unidad de observación se obtiene un único valor radiométrico de superficie de reflectancia anual en cada una de las bandas radiométricas utilizadas (Rojo, NIR y SWIR-1 y SWIR-2) (Ver Figura 4).

**Figura 4. Mosaico de mediana de superficie de reflectancia año 2017, imágenes Landsat 7 y 8**

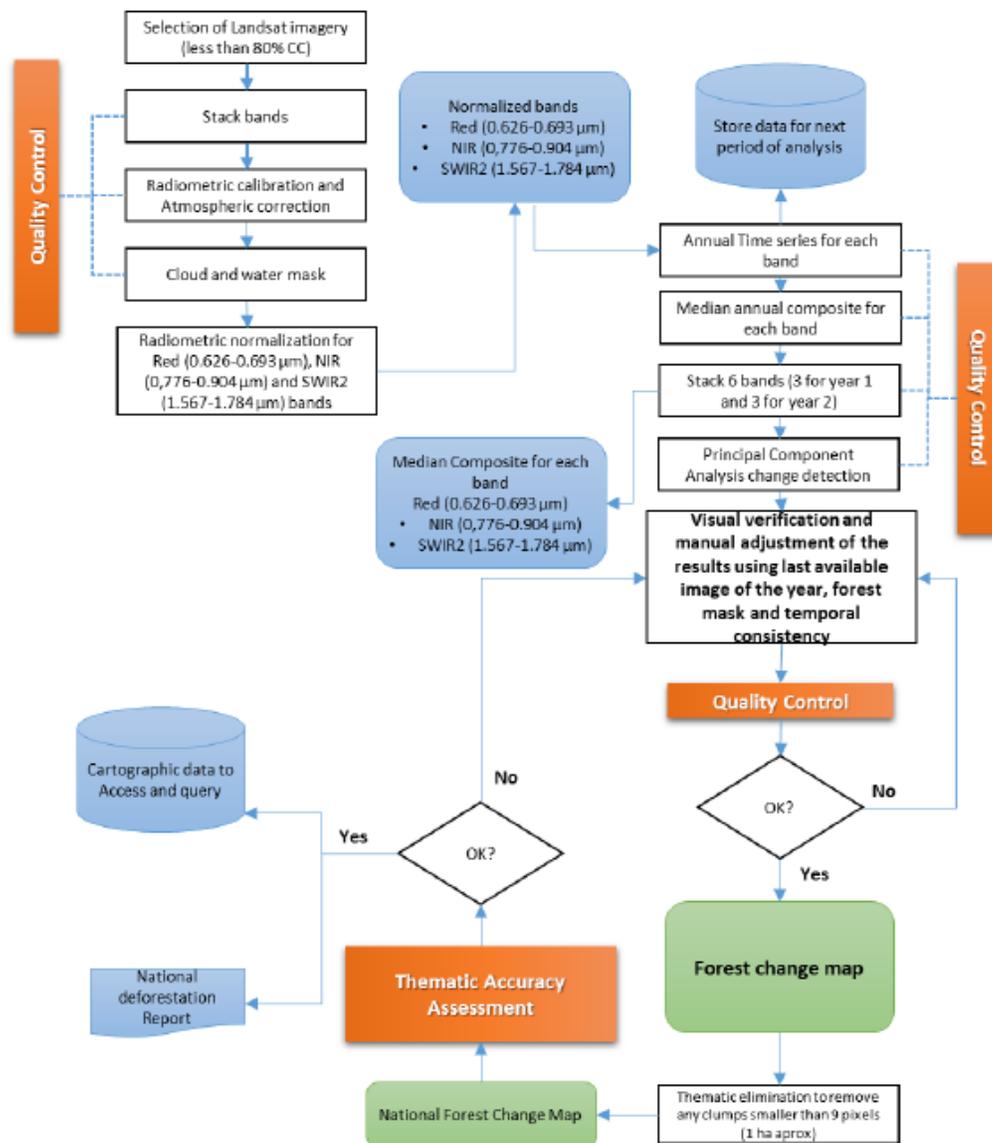


La construcción de estos compuestos para todo el país se realiza mediante herramientas propias desarrolladas en lenguaje de programación Python<sup>9</sup>. A pesar de que la utilización del compuesto de la mediana anual reduce las áreas sin información, también podría aumentar el error de omisión si el cambio ocurre durante los últimos meses del año. Para evitar este problema, después del proceso descrito anteriormente, se realiza una verificación visual y ajuste manual de los resultados utilizando el dato del último pixel del año (last pixel) y la última imagen

<sup>9</sup> <https://smbyc.bitbucket.io/stackcomposed/>

disponible del último trimestre del año, incorporando al resultado final los cambios que no fueron detectados utilizando el compuesto temporal de mediana<sup>10</sup>. La Figura 5 presenta el flujo de proceso.

**Figura 5. Esquema del proceso metodológico aplicado en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes V.2**



<sup>10</sup> Mayor información acerca del protocolo está disponible en: <https://tinyurl.com/ru3balg>.

#### 8.4.1.2 Procesamiento digital de imágenes de satélite

Involucra la detección automatizada de cambios en la superficie de bosque, permitiendo la detección directa de cambios en la respuesta espectral que puedan corresponder a una pérdida o ganancia de la cobertura del bosque. Luego, incorpora el trabajo de expertos para la verificación visual directa de los cambios sobre las imágenes, permitiendo minimizar los posibles errores y falsas detecciones debidas a errores en la clasificación automática de los cambios en la superficie del bosque. El resultado final de esta fase es la identificación semi-automatizada de las clases de deforestación y *regeneración*. A continuación, se describe con mayor detalle cada uno de los pasos realizados.

##### **a. Paso 7: detección del cambio**

Para identificar el cambio de cobertura de bosque se utiliza un método directo y automatizado aplicando el análisis de componentes principales (PCA), sobre la matriz de correlación de los valores de los píxeles del compuesto temporal de medianas generado en el paso anterior, para luego realizar una reclasificación de los valores de los píxeles al valor de la clase correspondiente.

La leyenda y los valores asignados en la reclasificación para cada clase son: 1. Bosque Estable 2. No Bosque Estable 3. Deforestación 4. Regeneración 5. Sin Información (corresponde a los datos enmascarados debidas a la ocurrencia de nubes y sombras de nube).

Para ajustar las áreas sin información detectadas para cada periodo de reporte, se aplica un análisis de series de tiempo con el cual se verifica la consistencia temporal. Para este proceso se tiene en cuenta la información del más reciente periodo de reporte y con ésta se ajustan las áreas sin información retrospectivamente para los otros periodos de reporte, como se presenta en la Figura 5.

##### **b. Paso 8: verificación visual de los cambios detectados por parte del intérprete**

Una vez finalizada la fase de procesamiento en donde se ha ejecutado el proceso de PCA por escena o conjunto de escenas, cada intérprete codifica cada unidad de observación a la clase o categoría correspondiente, obteniendo de esta manera un mapa preliminar de cambio de bosque con las siguientes clases o estratos:

- Bosque estable
- Deforestación
- Sin información
- Regeneración
- No bosque estable

Para corregir lo anterior, cada intérprete se apoya en: *i)* las últimas imágenes de cada año de referencia; *ii)* los compuestos de imágenes que resumen el valor del pixel para la última fecha de observación válida en el año de referencia y; *iii)* los compuestos con la mediana de los valores válidos del último trimestre del año de referencia. Al implementar este paso, se busca evaluar y revisar la primera versión del mapa de cambio de la cobertura forestal con el fin de identificar inconsistencias con respecto a los cambios de cobertura de la tierra determinados en años anteriores y de esta manera, generar una segunda versión del mapa.

Adicionalmente, y junto con la información de sensores remotos, se utiliza información de contexto en formato punto y polígono proporcionada por: Federación Nacional de Cafeteros, Federación Nacional de Productores de Madera, Cenipalma y de otros gremios para identificar áreas de cambios asociadas a coberturas cafeteras, de plantaciones forestales, de palma y o de otros cultivos agroforestales que no deben ser incluidos en los reportes de bosque ni de deforestación pero sí en los reportes de otras áreas forestales.

#### ***c. Paso 9. Control de calidad y ajustes durante el proceso***

El proceso de control de calidad implica el seguimiento de todas las actividades de ejecución, desde la descarga de las imágenes de satélite, los productos intermedios hasta los resultados finales del mapa de cambio de bosque y mapa de superficie de bosque. El SMBYC ha consolidado un conjunto de herramientas para garantizar la calidad, completitud y consistencia de los datos, a través de un script de Python ejecutado en ArcGIS© para producir los informes de control de calidad para cada escena.

#### ***d. Evaluación de exactitud temática***

Se desarrollaron cuatro ejercicios de la Evaluación de exactitud temática de la Mapa del Cambio en la superficie cubierta por tierras forestales en la Colombia para los periodos 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017 y 2017-2018. Estos ejercicios se realizaron para consolidar la línea base de la incertidumbre de los datos de actividad de las coberturas forestal y cambio de uso del suelo en Colombia. Las clases o coberturas que se evaluaron fueron Bosque estable, No bosque estable, Deforestación.

Los ejercicios de 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017 fueron desarrollados por un equipo de cuatro (4) expertos del grupo de intérpretes del IDEAM bajo la siguiente estructura:

Un líder de la evaluación, quien se encarga de coordinar el trabajo de los intérpretes, realizar el diseño e implementación de una muestra probabilística; realizar la consolidación y verificación de la interpretación; y efectuar el análisis de exactitud.

Tres (3) profesionales con amplia experiencia en interpretación visual y digital, y entrenados para aplicar el concepto de Cobertura boscosa en imágenes ópticas de media resolución.

El último ejercicio, periodo 2017-2018, se realizó bajo una consultoría independiente contratada por el IDEAM.

SMBYC en función a lo expuesto por (Olofsson, Foody, Stehman, & Woodcock, 2012), (Olofsson, Foody, & Herold, 2014). (Stehman & Foody, 2019). De la misma forma, cumpliendo las recomendaciones del documento de métodos y orientaciones generada por la Iniciativa Global de Observación de los Bosques (GFOI, por sus siglas en inglés)[1], este procedimiento satisface dos criterios: i) evitar subestimar o sobreestimar los cambios, en la medida en que pueda juzgarse, y ii) Reducir la incertidumbre en la medida de lo posible

En resumen, las evaluaciones detalladas a continuación cumplen los seis criterios de buenas prácticas (Stehman & Foody, 2019): primero, son relevantes para el mapa, las estimaciones de exactitud y la matriz de error reflejan la representación proporcional del área en términos tanto del mapa como de las clasificaciones de referencia. Segundo, las evaluaciones son estadísticamente rigurosas se implementa, un diseño de muestreo probabilístico, con estimadores consistentes insesgados y se cuantifica la variabilidad de las estimaciones de exactitud y del area con los respectivos errores estándar e intervalos de confianza. Tercero, se cumple un aseguramiento en la calidad, con varios protocolos para verificar los resultados por ejemplo que la evolución la realiza más de un intérprete y se verifique la coherencia.

Cuatro, las evaluaciones de exactitud temática son confiables, ya que se puede producir resultados similares con diferentes intérpretes y con la misma muestra. Por último, quinto y sexto, los ejercicios son transparentes y reproducibles, estas características son relevantes a nivel de calidad de los datos y se cumplen con la descripción detallada de la metodología y los anexos de las evaluaciones.

En este documento se resume la metodología empleada en los ejercicios de evaluación temática y se aborda principalmente tres componentes: (i) un diseño de muestreo probabilístico; (ii) un diseño de la respuesta; y (iii) un análisis para estimar la exactitud, a partir una matriz de error construida mediante estimadores insesgados. Para implementar cada uno de estos componentes se utiliza la aplicación AcATaMa para QGis[2], desarrollada por el equipo del SMBYC y en la cual se encuentran incorporadas las fórmulas y lineamientos de Olofsson et al. (2012, 2014) para generar los muestreos, clasificar las muestras revisando simultáneamente las imágenes de la fecha inicial y final del cambio y calcular las medidas de exactitud temática y áreas ajustadas de las clases del mapa de cambio evaluado.

#### **e. Diseño de muestreo.**

En términos generales, para la evaluación de la exactitud temática de los mapas de cambio de cobertura de la tierra se recomienda utilizar un muestreo aleatorio estratificado, en el que los estratos corresponden a las clases del mapa. En otras palabras, esta metodología se basa en la proporción que define el número de puntos calculados acorde a la proporción del área y del error. En la estratificación se utilizan las clases temáticas del mapa de cambio de bosque: (1) Bosque estable; (2) No bosque

estable y (3) deforestación. Cada una de estas clases se subdivide de acuerdo con un mapa de riesgo de deforestación en el que se identifican las áreas de bajo y alto riesgo de acuerdo con las tendencias históricas de los últimos 5 años. De esta manera, se tienen 6 estratos para el muestreo y la validación del mapa de cambio de la superficie de bosque: (1) Bosque estable en zonas de alto riesgo de deforestación BE-RA, (2) No bosque estable en zonas de alto riesgo de deforestación NB-RA, (3) deforestación en zonas de alto riesgo de deforestación DEF-RA, (4) Bosque estable en áreas de bajo riesgo de deforestación BE-RB, (5) No Bosque estable en áreas de bajo riesgo de deforestación NB-RB y (6) deforestación en áreas de bajo riesgo de deforestación DEF-RB.

El tamaño de la muestra ( $n$ ) se determina aplicando la ecuación de Cochran (1977) para un diseño de muestreo aleatorio estratificado; se calcula como la sumatoria de los productos de la proporción de área ( $W_i$ ), asociada a cada clase/estrato  $i$ , por los errores estándar ( $S_i$ ) de cada clase/estrato, sobre error estándar de la exactitud global que se desea lograr  $S(o)$ , elevados al cuadrado.

**Ecuación 1. Cálculo del tamaño de la muestra**

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$n = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^n (W_i S_i)^2}{S_0} \right\rceil$	Tamaño de la muestra.	Cochran, 1977

La proporción de área ( $W_i$ ) corresponde al área que ocupa cada clase/estrato en el mapa ( $A_i$ ) respecto al área total de todas las clases /estratos evaluados ( $A_{tot}$ ).

**Ecuación 2. Cálculo de la proporción de área mapeada**

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$W_i = \frac{A_i}{A_{tot}}$	Proporción del área mapeada.	Stehman, 2012

La desviación estándar de cada estrato  $i$  ( $S_i$ ) se calcula como:

**Ecuación 3. Cálculo de la desviación estándar por estrato**

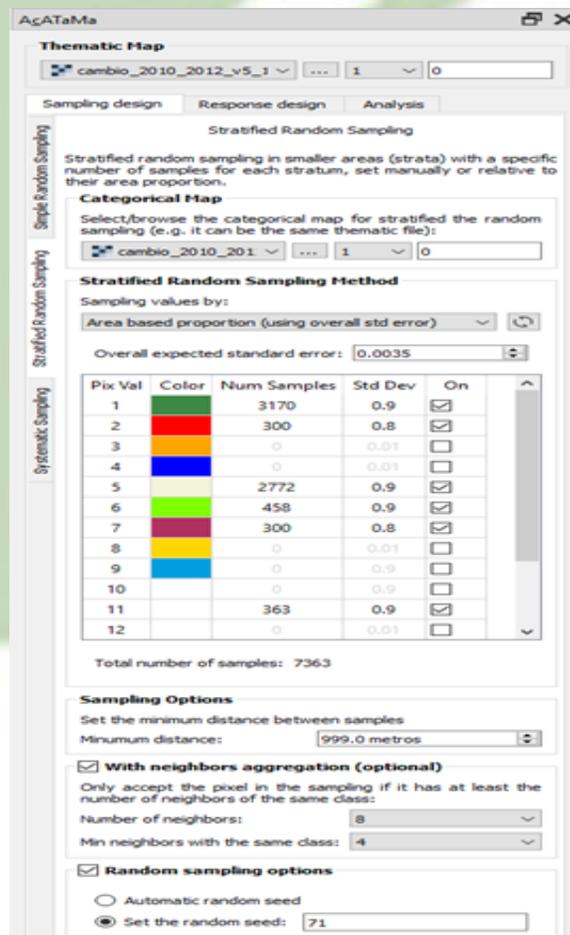
ECUACION	DESCRIPCION
$S_i = \sqrt{U_i(1 - U_i)}$	Desviación estándar por cada estrato ( $i$ ).

Para la desviación estándar ( $S_i$ ) de los estratos de cobertura estable (BE\_RB, BE-RA, NB-RB, NB-RB) que ocupan una mayor área en el mapa, se asigna un valor teórico de exactitud de usuario  $U_i$  de 0,9 por considerar que estas clases suelen tener una

alta exactitud; mientras que a los estratos de deforestación en áreas con alto riesgo (DEF-AR) y bajo riesgo (DEF-BR) se les asigna un valor de  $U_i$  de 0,80, puesto que el error suele ser mayor en las clases de cambio, de acuerdo con (Olofsson, Foody, & Herold, 2014).

Una vez definido el tamaño de la muestra total y por estrato, se genera una capa con los puntos aleatorios que serán evaluados, aplicando una restricción de distancia mínima de separación de 500 a 1.000 metros para evitar la auto-correlación espacial y superposición entre las mismas. También, se adiciona una semilla de aleatorización, que guarda los puntos aleatorizados, para que puedan ser replicados y reproducibles. La elaboración de estos puntos de muestreo se efectuó utilizando la herramienta AcATaMa de QGIS. Este método de aleatorización mostró mejores resultados en la generación de la muestra que otros algoritmos implementados en programas de SIG convencionales, en los cuales se observan patrones no aleatorios en los puntos. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de una configuración del muestreo.

Figura 6. Ejemplo diseño de muestreo.



**Thematic Map**  
cambio\_2010\_2012\_v5\_1

**Stratified Random Sampling**  
Stratified random sampling in smaller areas (strata) with a specific number of samples for each stratum, set manually or relative to their area proportion.

**Categorical Map**  
Select/browse the categorical map for stratified the random sampling (e.g. it can be the same thematic file):  
cambio\_2010\_2011

**Stratified Random Sampling Method**  
Sampling values by:  
Area based proportion (using overall std error)  
Overall expected standard error: 0,0035

Pix Val	Color	Num Samples	Std Dev	On
1		3170	0,9	<input checked="" type="checkbox"/>
2		300	0,8	<input checked="" type="checkbox"/>
3		0	0,01	<input type="checkbox"/>
4		0	0,01	<input type="checkbox"/>
5		2772	0,9	<input checked="" type="checkbox"/>
6		458	0,9	<input checked="" type="checkbox"/>
7		300	0,8	<input checked="" type="checkbox"/>
8		0	0,01	<input type="checkbox"/>
9		0	0,9	<input type="checkbox"/>
10		0	0,9	<input type="checkbox"/>
11		363	0,9	<input checked="" type="checkbox"/>
12		0	0,01	<input type="checkbox"/>

Total number of samples: 7363

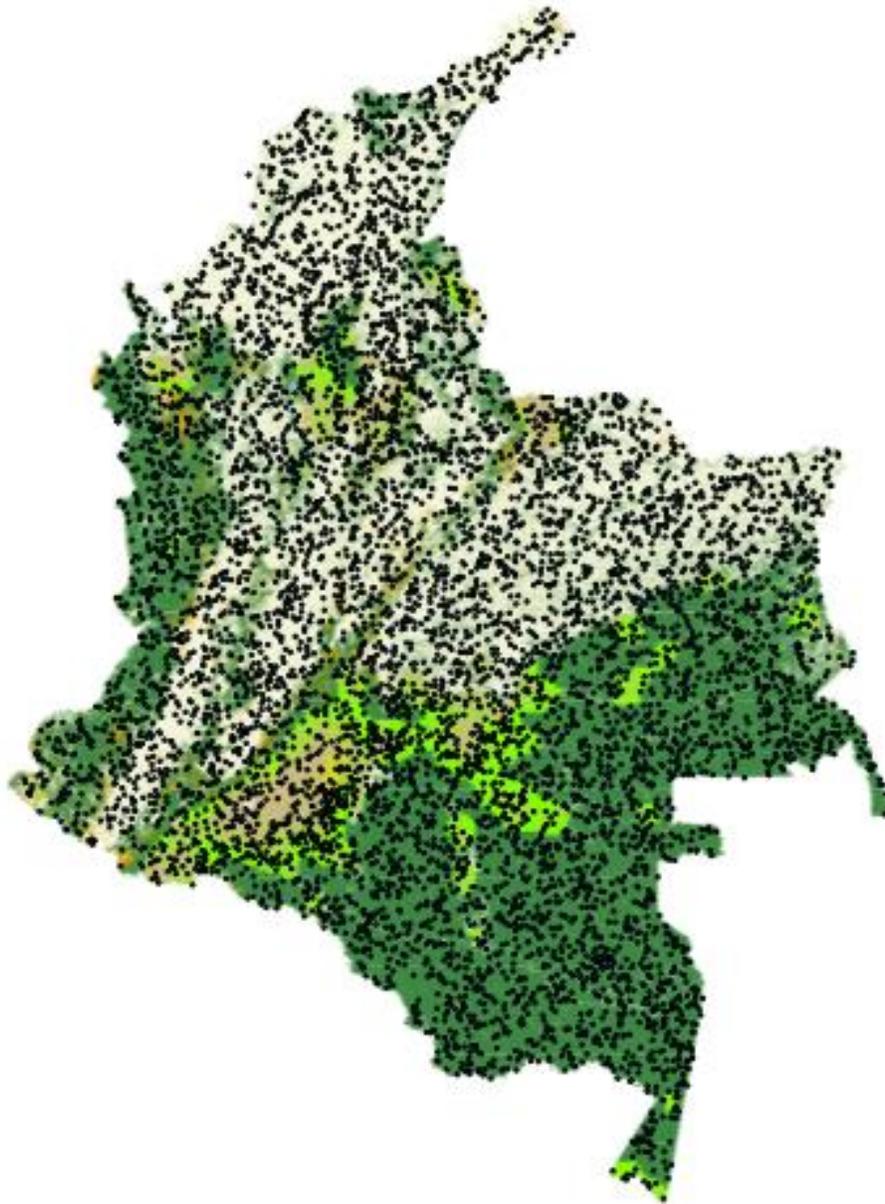
**Sampling Options**  
Set the minimum distance between samples  
Minimum distance: 999,0 metros

**With neighbors aggregation (optional)**  
Only accept the pixel in the sampling if it has at least the number of neighbors of the same class:  
Number of neighbors: 8  
Min neighbors with the same class: 4

**Random sampling options**  
 Automatic random seed  
 Set the random seed: 71

En la siguiente figura se ejemplifica la generación de los puntos de muestreo del mapa de cambio de bosque.

**Figura 7. Generación del muestreo**



<sup>[1]</sup> <https://www.reddcompass.org/mgd/resources/GFOI-MGD-3.1-es.pdf>

<sup>[2]</sup> <https://github.com/SMBYC/AcATaMa>

#### **f. Diseño de respuesta**

El diseño de la respuesta implica la especificación de la unidad espacial de la evaluación, la selección de los datos de terreno o imágenes que se recopilar para la etiqueta de referencia, la determinación del protocolo de etiquetado para los datos de referencia y la decisión de cómo se define un acuerdo o desacuerdo temático.

Para precisar este componente en lo correspondiente a mapas anuales de cambio en la superficie de bosque, primero se debe especifica la unidad de muestreo que para este es una hectárea o nueve pixeles de 30\*30 metros y se estableció que la manera de etiquetar o de clasificar la cobertura en cada punto de muestreo se debe elegir la clase o cobertura que tenga el mayor porcentaje de área.

Siguiendo esta misma guía de buenas prácticas, se recomienda que se utilice como datos de referencia un insumo de mayor resolución o producido con mayor calidad al que se utilizó para generar los datos originales. En consonancia con esas recomendaciones, como datos de referencia se utilizan principalmente los mosaicos e imágenes individuales de Landsat 4, 5, 7 ETM+, 8 OLI, 9 OLI y Sentinel 2 generados por el SMByC; que son las mismas con las que se genera el dato original, pero la verificación se realiza a partir de un proceso de revisión visual de cada muestra, ya que se considera que este método es de mayor calidad que la interpretación semiautomática con la que se generó el mapa de cambio de bosque. Así mismo, como insumo para mejorar la calidad del dato de referencia se accede a los datos de imágenes de alta resolución de Planet Scope (<https://www.planet.com/>) e imágenes satelitales gratuitas disponibles en los repositorios de GOOGLE y ESRI.

Posteriormente se realiza la Interpretación de los puntos de muestreo, En esta etapa, un equipo de tres profesionales realiza de manera independiente la interpretación visual de cada muestra, aplicando las definiciones de Bosque y Deforestación adoptadas por el SMByC. Con el aplicativo AcATaMa es posible definir una escala de referencia fija para la interpretación, visualizar simultáneamente las imágenes de referencia de las fechas inicial y final del mapa de cambio evaluado, así como seleccionar la clase correspondiente, ver siguiente figura. La interpretación de los puntos se realiza teniendo en cuenta los 8 vecinos circundantes al pixel en el que se encuentra el punto de la muestra y en el aplicativo también puede delimitar un buffer de una hectárea con un recuadro de referencia que ayuda a identificar la unidad de muestreo. Con esta aplicación es posible comparar simultáneamente las imágenes de la fecha inicial y final del mapa de cambio evaluado. En el ejemplo se observan los compuestos desde 2004 al 2018 para evaluar el un punto de muestreo de la evaluación de exactitud temática del Mapa de cambio periodo 2010-2012.

Figura 8. Clasificación de las muestras utilizando AcATaMa

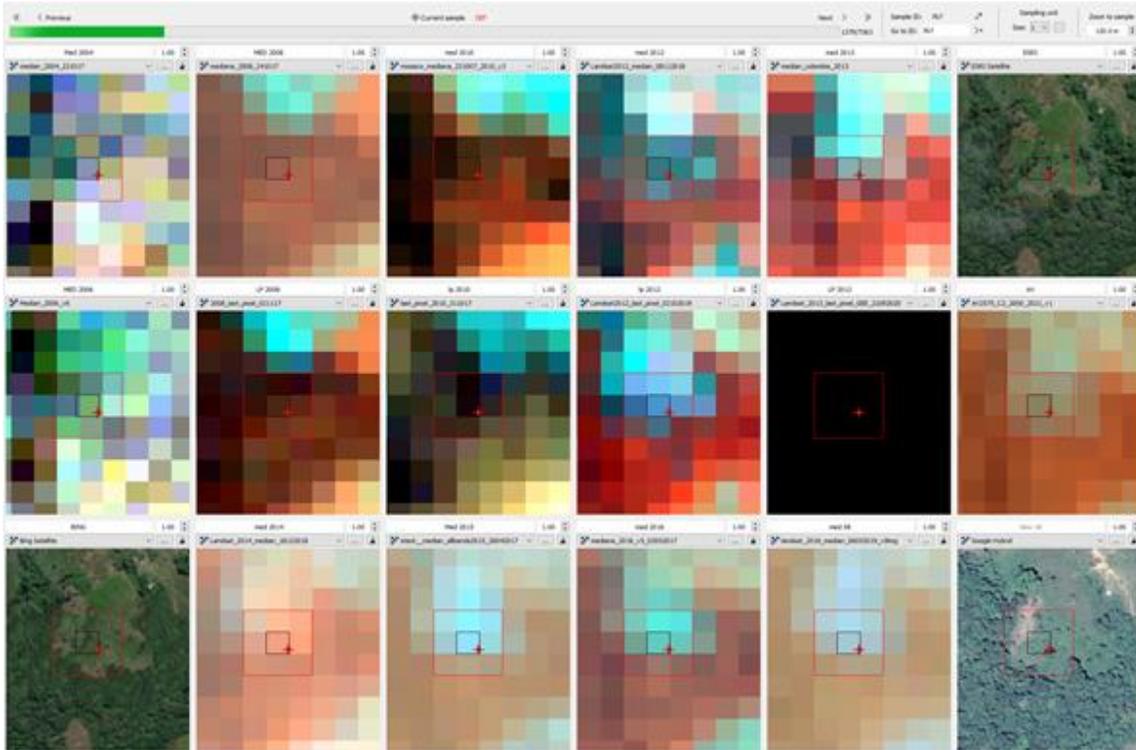
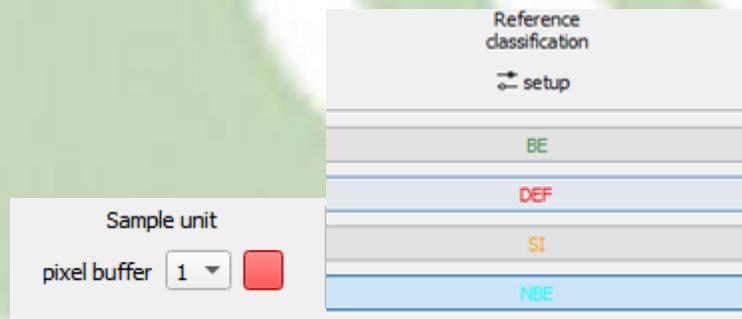


Figura 9. Clasificación de referencia de etiquetas en la evaluación temática y unidad de muestreo.



**g. Análisis de los datos de la evaluación temática**

En la matriz, por lo general, se comparan los datos del mapa dispuestos en las filas y los datos de referencia, organizados en columnas. De tal manera que los valores dispuestos en la diagonal de la matriz de confusión indican el acuerdo entre los dos conjuntos de datos, como se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 1. Matriz de error en términos del resultado de muestreo**

		DATOS DE CLASIFICACION DE REFERENCIA			
		1	2	k	Total $n_{i+}$
Datos de la clasificación del mapa	1	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{1k}$	$n_{1+}$
	2	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{2k}$	$n_{2+}$
	K	$n_{k1}$	$n_{k2}$	$n_{kk}$	$n_{k+}$
	Total $n_{+j}$	$n_{+1}$	$n_{+2}$	$n_{+k}$	$n$

Fuente: Stehman & Foody, 2019.

De acuerdo con la tabla anterior, las muestras se distribuyen en celdas, siendo  $n_{ij}$  el número de muestras clasificadas en la categoría 'i' ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) en el mapa y la categoría  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, k$ ) en el conjunto de datos de referencia. La matriz de error también puede presentarse en términos de proporción del área. En este caso, esta se definiría como, donde  $p_{ij}$  es la proporción de población de la clase, 'i' del mapa y la clase de referencia  $j$ ,  $W_i$  es la proporción de área mapeada como clase 'i' y, finalmente,  $n_{i+}$  es el tamaño de la muestra del estrato  $i$ .

**Tabla 2. Matriz de error en términos de proporción del área**

		DATOS DE CLASIFICACION DE REFERENCIA				
		1	2	...	k	Total
Datos de la clasificación	1	$p_{11}$	$p_{12}$	...	$p_{1k}$	$p_{1+}$
	2	$p_{21}$	$p_{22}$	...	$p_{2k}$	$p_{2+}$
	...	...	...	...	...	...
	K	$p_{k1}$	$p_{k2}$	...	$p_{kk}$	$p_{k+}$
	Total	$p_{+1}$	$p_{+2}$	...	$p_{+k}$	1

Fuente: Stehman & Foody, 2019.

La evaluación de la exactitud se centra en tres tipos de análisis y parámetros. El primero a nivel global, definido como exactitud general. El segundo que se enfoca en la exactitud específica de la clase y se clasifica como la exactitud del usuario o el productor. Y, el tercero, que corresponde a la estimación de la proporción de área por una clase.

La exactitud global o general (O), representa la proporción de área correctamente clasificada y se puede estimar para el muestreo aleatorio estratificado de la siguiente manera:

**Ecuación 4. Cálculo de la exactitud global o general**

ECUACION	DESCRIPCION
$O = \sum_{i=1}^c p_{ii} = \sum_{i=1}^k W_i \frac{n_{ii}}{n_{i+}}$	Exactitud global o general.

La exactitud del usuario, para una clase de cubierta terrestre  $i$ , se indica como la probabilidad de que un área clasificada como ‘ $i$ ’ en el mapa producido sea clasificada como ‘ $i$ ’ en los datos de referencia. Esta medida cuantifica los errores de comisión de cada uno de los estratos en el mapa. A esta corresponde la siguiente ecuación de la exactitud del usuario (U) para el caso del muestreo aleatorio estratificado:

**Ecuación 5. Cálculo de la exactitud del usuario**

ECUACION	DESCRIPCION
$U_i = \frac{p_{ii}}{p_{i+}}$	Exactitud del usuario (U)

La exactitud del productor se especifica cuando la probabilidad de que una cubierta terrestre de clase  $j$  en los datos de referencia, se clasifique como  $j$  en el mapa producido. Esta medida se relaciona con la estimación de la proporción de los errores de omisión del mapa. También se puede estimar la exactitud del productor (P) para el caso del muestreo aleatorio estratificado:

**Ecuación 6. Cálculo de la exactitud del productor**

ECUACION	DESCRIPCION
$P_j = \frac{p_{jj}}{p_{+j}}$	Exactitud del productor (P)

Por último, las áreas de las clases del mapa de cambio son ajustadas con base en la proporción de áreas derivadas de los datos de referencia (muestras clasificadas), multiplicadas por el área total evaluada  $ATot$ . La incertidumbre de la estimación está representada por el error estándar que se utilizó para construir intervalos de confianza

del 95%. En la siguiente tabla se resume los estimadores para el muestreo aleatorio estratificado:

**Tabla 3. Resumen de estimadores de la proporción del área**

Estimadores	Estimador de la proporción del área $\hat{p}_{+k}$	Estimador de varianza del área $\hat{V}(\hat{p}_{+k})$
<b>Estratificado</b>	$p_{ij} = W_i * (n_{ij}/n_i)$	$\hat{V}(\hat{p}_{+k}) = \sum_{i=1}^c W_i^2 \hat{p}_i (1 - \hat{p}_i)/n_{i+}$ $\hat{V}(\hat{p}_{+k}) = \sum_{i=1}^c \frac{W_i^2 \hat{p}_{ik} - p_{ik}^2}{n_i - 1}$ <p>Donde <math>\hat{p}_i = \hat{p}_{ik}/p_{i+}</math> es la proporción estimada del área de la clase k en el estrato i.</p>

**Fuente:** Stehman S, 2013; Olofsson, *et al.*, 2014.

#### **h. Incertidumbre**

Las fuentes de incertidumbre que pueden afectar a los datos de actividad asociados a la deforestación vienen dadas por dos factores: El primero está relacionado con los errores aleatorios asociados principalmente al diseño de muestreo. El segundo factor está relacionado a errores sistemáticos tal como el de clasificación o el sesgo del intérprete, o los asociados a los errores de los datos de referencia y los del mapa original.

Estas fuentes de incertidumbre pueden cuantificarse estimando el intervalo de confianza del 95 por ciento de la omisión, y para el caso de los datos de actividad del Mapa de cambio de la superficie de bosque natural se evalúa la mediana del coeficiente de variación de cada uno de muestreos efectuados para la clase deforestación. Este coeficiente se define como la relación entre la desviación estándar y el estimador de proporción de área de la clase deforestación de los estratos de los mapas.

##### **8.4.1.3 Cálculos y reportes**

Para calcular la superficie deforestada entre dos periodos de análisis se tiene en cuenta únicamente las áreas para las cuales hay información en los dos periodos de análisis, de manera que exista la certeza de que el evento ocurrió en el periodo de tiempo analizado.

Las pérdidas de bosque detectadas luego de una o varias fechas sin información no fueron incluidas en el cálculo con el fin de evitar tasas sobrestimadas en periodos en los

que aumentan las áreas sin información por diferentes factores (épocas climáticas de alta nubosidad o fallas en los sensores de los satelitales).

Después de la generación de cada período de monitoreo de la deforestación, se realiza un análisis de consistencia de la serie temporal, en el que se comprueba que, para cada uno de los píxeles marcados como deforestación, ese mismo píxel no se ha marcado en los períodos anteriores (al menos seis años) como deforestado. Si este fuera el caso, se corrige el resultado más reciente y se marca como “no bosque” (NB) o se revisa el área específica de forma retrospectiva.

Podría ocurrir que después de seis años, un evento de cambio detectado antes de 2006 podría volver a ser marcado como deforestado solo en 2013 o 2014.

Debe señalarse que para el presente NREF, se mejoraron los procedimientos de control de calidad respecto a lo señalado previamente. Se efectuó una revisión para el periodo de referencia (2013 – 2022) y se efectuaron los ajustes correspondientes, asegurando que los píxeles fueran clasificados como bosque o deforestado con lo cual se garantiza la consistencia en la serie temporal analizada. Lo anterior condujo a un ajuste en las cifras que fueron presentadas en el NREF anterior y que se hacen evidentes a partir del año 2013 tal como se presenta en la Tabla 4.

**Tabla 4. Monitoreo de datos de actividad de deforestación (Cambio en la superficie de bosque – CSB) para la construcción del nivel de referencia de emisiones forestales**

Período de análisis	CSB Nacional (ha año <sup>-1</sup> )	CSB Región Amazonía (ha año <sup>-1</sup> )	CSB Región Andes (ha año <sup>-1</sup> )	CSB Región Caribe (ha año <sup>-1</sup> )	CSB Región Orinoquia (ha año <sup>-1</sup> )	CSB Región Pacífico (ha año <sup>-1</sup> )
2001	135.119	77.068	27.810	12.005	8.259	9.977
2002	135.119	77.068	27.810	12.005	8.259	9.977
2003	179.102	96.092	34.251	24.875	14.358	9.526
2004	179.102	96.092	34.251	24.875	14.358	9.526
2005	138.574	82.752	20.200	18.969	10.559	6.093
2006	138.574	82.752	20.200	18.969	10.559	6.093
2007	140.121	79.622	20.751	18.873	14.685	6.191
2008	140.121	79.622	20.751	18.873	14.685	6.191
2009	120.517	69.669	20.270	11.269	11.635	7.672
2010	120.517	69.669	20.270	11.269	11.635	7.672
2011	139.772	93.670	23.907	11.372	7.202	3.622
2012	139.772	93.670	23.907	11.372	7.202	3.622
2013	116.127	67.243	24.331	11.803	8.026	4.725
2014	137.312	63.898	32.172	18.152	9.759	13.331
2015	123.834	56.960	29.156	16.462	9.107	12.149
2016	177.738	69.772	45.446	24.368	9.351	28.799
2017	219.488	143.992	36.621	15.657	9.851	13.366
2018	197.105	138.140	28.080	11.363	12.070	7.452
2019	158.840	98.228	25.199	12.785	8.511	14.117
2020	171.652	109.285	28.971	12.896	8.240	12.260

Período de análisis	CSB Nacional (ha año <sup>-1</sup> )	CSB Región Amazonía (ha año <sup>-1</sup> )	CSB Región Andes (ha año <sup>-1</sup> )	CSB Región Caribe (ha año <sup>-1</sup> )	CSB Región Orinoquía (ha año <sup>-1</sup> )	CSB Región Pacífico (ha año <sup>-1</sup> )
<b>2021</b>	174.068	112.878	29.894	9.542	8.349	13.404
<b>2022</b>	123.452	71.129	22.153	10.489	6.382	13.299
<b>Promedio 2001-2022</b>	<b>150.276</b>	<b>87.694</b>	<b>27.109</b>	<b>15.376</b>	<b>10.138</b>	<b>9.958</b>
<b>Promedio 2013-2022</b>	<b>159.962</b>	<b>93.153</b>	<b>30.202</b>	<b>14.352</b>	<b>8.965</b>	<b>13.290</b>

La implementación de esta metodología permitió identificar los cambios en la cobertura boscosa (expresados en hectáreas), generando reportes bienales para el periodo 2000 - 2012, y reportes anuales para el periodo 2013 – 2022 a nivel nacional y regional.

#### a. Cambio en la superficie cubierta por bosque (CSB)

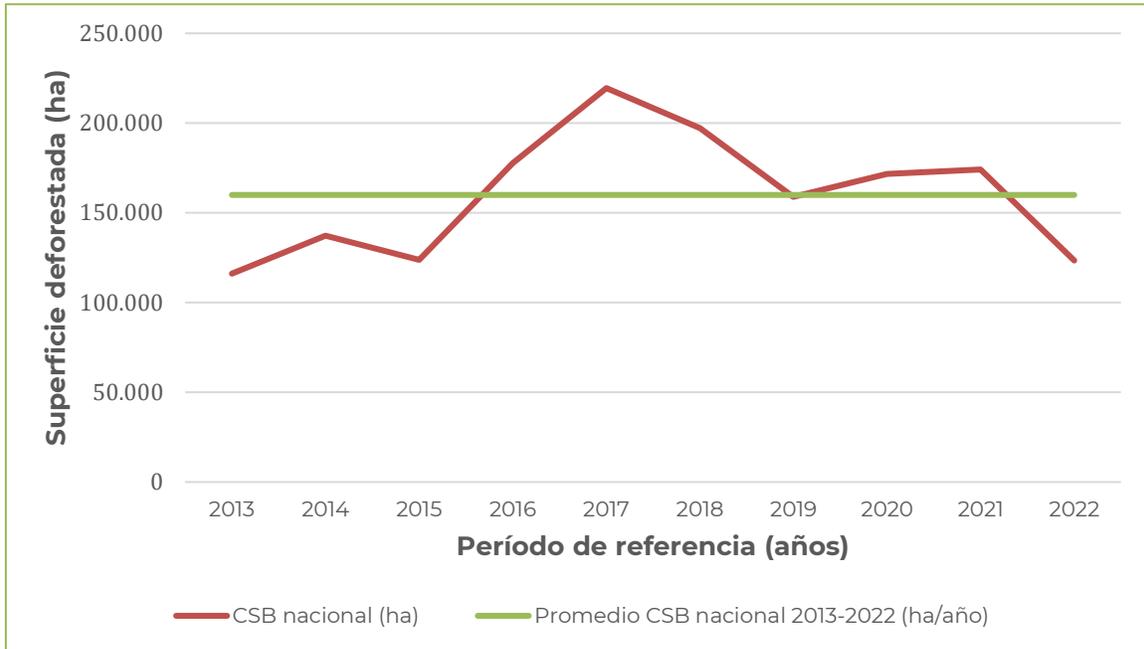
Hace referencia a la diferencia entre la superficie de bosque detectada en el periodo inicial y la superficie de bosque detectada en el periodo final dividido por el número de años del periodo. Se tiene en cuenta solamente las áreas comunes en ambos periodos de análisis que pueden ser interpretadas excluyendo del análisis las áreas sin información en cualquiera de los dos periodos.

Los datos de cambio en la superficie cubierta por bosque para el periodo 2013 – 2022 (anualizados) constituyen los datos de actividad necesarios para la construcción del NREF (Tabla 1)<sup>11</sup>. La información para el periodo de referencia será desagregada en dos datos de actividad para deforestación en virtud del enfoque metodológico adoptado para la estimación de la degradación tal como se explicará en el siguiente numeral. Dicha desagregación se detalla en el apartado de los factores de emisión por deforestación.

Los resultados de monitoreo de datos de actividad evaluados permiten identificar que para el periodo de referencia (2013 – 2022) la deforestación fue de 159.962 ha año<sup>-1</sup> a nivel nacional (Figura 10). A nivel de regiones y en términos absolutos, se mantiene la tendencia identificada en el anterior NREF en donde la Amazonía y la región Andina concentran las mayores superficies deforestadas, mientras que el promedio más bajo es observado para la Orinoquía.

<sup>11</sup> Los insumos cartográficos para la obtención de la deforestación por periodo son consultables en: (<http://smbyc.ideam.gov.co>)

**Figura 10. Monitoreo del cambio de la superficie de bosque para el período 2013 - 2022**



#### **8.4.2 Aspectos metodológicos para la generación de datos de actividad por degradación forestal**

Estimar la degradación forestal es un reto que enfrentan la mayoría de países que tienen como objetivo incluir esta en sus compromisos de reducción de emisiones enmarcado en un contexto de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques, Aumento de las Reservas de Carbono, Conservación y Manejo Sostenible de los Bosques, mejor conocida como REDD+. Este reto abarca no solo aspectos técnicos, como la dificultad de hacer una disociación efectiva con procesos de origen antropogénico como la deforestación o de procesos naturales como la fenología; sino también aspectos económicos y organizacionales. El Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC), el cual es liderado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), ha realizado diferentes esfuerzos encaminados a establecer una metodología que permita estimar la degradación de manera costo efectiva y con un bajo nivel de incertidumbre.

En consecuencia, se han desarrollado estudios basados en metodologías directas y metodologías indirectas. Bajo el primer enfoque metodológico, orientado en detectar cambios en el dosel, pequeños claros y/o cambios estructurales como resultado de perturbaciones forestales, se han empleado algoritmos diseñados para el análisis de series de tiempo de datos provenientes de sensores remotos pasivos. Específicamente, se realizaron pruebas con CCDC (Continuous Change Detection and Classification), Bfast (Breaks For Additive Season and Trend) y Landtrendr. El potencial de estos algoritmos es innegable. Sin embargo, aspectos como el ruido generado por procesos deficientes de

enmascaramiento de nubes, ocasionan falsas detecciones. Además, existen limitaciones computacionales que hacen difícil escalar las detecciones a un nivel nacional o para integrar los datos con los obtenidos en campo con el IFN.

Bajo el contexto de las metodologías indirectas, en las cuales la estimación de la degradación se efectúa a través de un proxy y no con mediciones directas a nivel de píxel, el SMBYC realizó en el año 2018 un estudio en el cual se empleó el algoritmo Land Fragmentation Tool (LFT). En dicho estudio se definieron clases asociadas con la degradación (parche, perforado y núcleo) y con las áreas no degradadas (bosque núcleo) para cuantificar posteriormente la transición entre las mismas y obtener así un estimado de las áreas degradadas.

Finalmente, la estimación de la degradación se abordó desde una tercera perspectiva. En este caso, con base en un documento sobre las causas de degradación en Colombia elaborado en 2016 por el SMBYC, en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia, se realizaron dos estudios encaminados a estimar las emisiones por tipo de actividad. Un primer análisis, realizado con el apoyo técnico de Winrock Internacional, denominado “*Estimación de Emisiones del Aprovechamiento Forestal por Tala Selectiva: Propuesta de un método operacional para Colombia*” abordó la estimación de emisiones asociadas a la extracción de leña en áreas de aprovechamiento forestal persistente (Casarim *et al.*, 2017). El segundo estudio cuantificó las emisiones relacionadas con el consumo de leña rural y urbano a nivel nacional con fines energéticos (cocción - calefacción) mediante la metodología WISDOM.

Si bien los estudios mencionados produjeron resultados piloto, la información disponible y las limitaciones técnicas impidieron generar un dato de degradación representativo para todo el territorio nacional y para un periodo amplio de tiempo. Es por ello que el presente documento presenta las bases para la generación de una línea base de degradación basado en un análisis morfológico empleando algoritmo Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA).

El SMBYC desarrolló un protocolo para el procesamiento digital de imágenes con el objetivo de generar información sobre la distribución, extensión y cambios en la cobertura boscosa en Colombia (Galindo *et al.*, 2014). Este protocolo se basó en el uso de imágenes provenientes del programa satelital LANDSAT (USGS 2014), dada su disponibilidad histórica, su resolución temporal y espacial, y continuidad acorde para el monitoreo de la cobertura boscosa. Tomando como base varios de los productos generados en el monitoreo de la deforestación, a continuación, se describe la metodología propuesta para la estimación de la degradación a nivel nacional.

#### 8.4.2.1 Datos empleados para la estimación de la degradación forestal

Para la estimación de la degradación se emplearon como insumo las capas de cambio de la superficie de bosque y de Bosque No Bosque nacionales elaboradas por el grupo de procesamiento digital de imágenes del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono del IDEAM para los periodos anuales 2013-2022. A estas capas se les realizaron correcciones de consistencia temporal y ajuste de áreas sin información.

Adicionalmente, la información de los sumideros se obtuvo de los datos de biomasa aérea (AGB) y subterránea (BS), generados y procesados por el IFN para las áreas de bosques del territorio Colombiano (n = 661 conglomerados).

#### 8.4.2.2 Definición de distancia al borde y pre-procesamiento de la información

##### a. Definición de distancia al borde

La distancia al borde del bosque está relacionada con la distancia a la cual son perceptibles, de manera significativa, los llamados “efectos de borde”. Entre ellos destacan efectos negativos en la composición, la retención de nutrientes, la productividad, las dinámicas tróficas, el microclima y la biomasa. Existen diversas aproximaciones metodológicas respecto a la definición de la distancia de borde. En un estudio previo realizado por el Ideam (2018) la distancia de borde fue definida a través de la combinación de datos provenientes de una capa de biomasa y diferentes distancias al borde del bosque (50, 100, 120, 200, 250, 300, 350 y 400 m.); allí se evaluó a qué distancia las diferencias en los contenidos promedio de biomasa era significativa. En tal estudio se encontró que las ecuaciones de regresión lineal fueron significativas para todas las distancias evaluadas. No obstante, debido a que los valores de R-cuadrado y de AIC no presentaron variaciones significativas al aumentar la distancia de borde, se seleccionó la mínima distancia (100 m) que presentó diferencias significativas en la biomasa aérea entre las clases de fragmentación (Ramirez Delgado et al., 2018).

En adición a lo anterior, autores como (Shapiro et al., 2020) realizaron estudios para evaluar el estado de conservación de los ecosistemas forestales aplicando el concepto de morfología con una distancia de borde de 300 metros. Así mismo Giuseppe Molinaro (2017) estudió la dinámica de la cubierta forestal de la agricultura migratoria en la República Democrática del Congo desde el 2000 al 2010 aplicando una distancia de borde de 240 metros. Estos estudios utilizaron como insumo los sensores remotos para evaluar, ya sea de manera directa o indirecta, los efectos que sobre la vegetación tiene la cercanía al borde. En general se plantea que dichos efectos son observables a distancias que oscilan en el rango entre los 100 y los 300 metros. En este estudio se opta por utilizar una distancia de 120 metros en concordancia con dichos estudios y como una medida para evitar la sobreestimación de las áreas degradadas.

##### b. Pre-procesamiento de la información

El mapa de superficie de bosque en sus categorías bosque y no-bosque, es el insumo del análisis morfológico MSPA para generar las áreas de bosque núcleo y bosque borde. No se ingresaron las áreas de Sin Información asociadas a presencia de nubes y sombras ya que afectan los resultados en cada uno de los años de reporte NREF. Para reducir su impacto se implementó una operación aplicando reglas de validación y consistencia en el proceso de imputación antes de realizar el Análisis Morfológico.

Por lo anterior, se verificó la consistencia temporal de las clases bosque y no bosque mediante procesos de imputación deductiva con dos objetivos: 1) imputar valores para píxeles clasificados como Sin Información en períodos anteriores de la serie y, 2) ajustar las inconsistencias temáticas de la serie temporal.

En cuanto a las reglas aplicadas para las áreas clasificadas como Sin Información se utilizaron las siguientes: i) No se realiza imputación para el primer ni el último año de la serie histórica (en este caso se utilizó la serie bianual-anual 2000 - 2022 como punto de inicio y fin de la serie), ii) Un valor de bosque se imputa a un píxel previamente clasificado como Sin Información entre el segundo y el penúltimo período siempre y cuando la serie registre valores de bosque en los períodos anteriores y posteriores a ese píxel evaluado clasificado como sin Información, iii) Se imputa un valor no bosque a un píxel previamente clasificado como Sin Información entre el segundo y el penúltimo período, siempre y cuando la serie registre valores no bosque en los períodos anteriores y posteriores a ese píxel evaluado. Utilizando este enfoque, se redujo las áreas Sin Información a un promedio de aproximadamente 23.000 ha año<sup>1</sup> para el NREF (Recuadro 1).

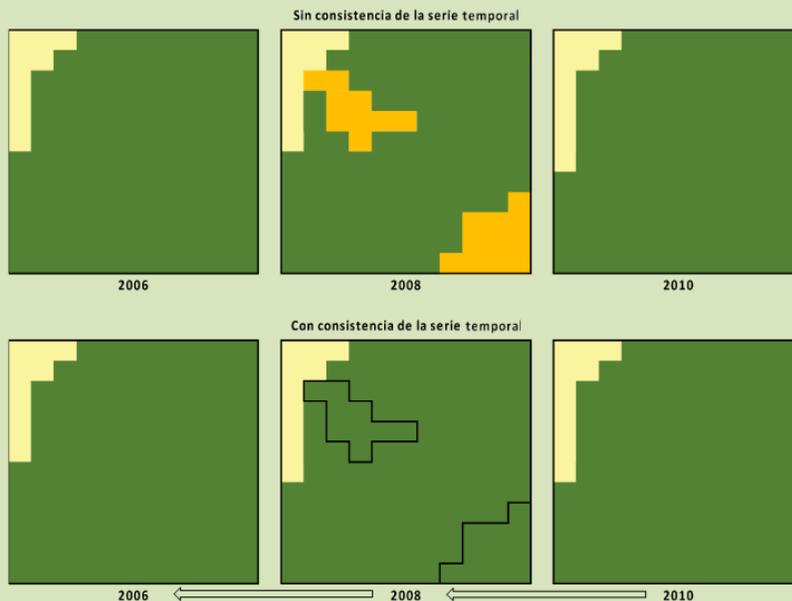
### Recuadro 1. Consistencia temporal de la superficie de bosque

A continuación se muestran ejemplos de imputación en píxeles (unidades de observación) con valores de “Sin Información” en la variable “cobertura de bosque natural”, a partir de los datos de la serie de tiempo histórica:

Año de monitoreo						Aplicación del proceso de imputación de acuerdo con las reglas establecidas
2010	2012	2013	2014	2015	2016	
B	B	B	B	B	SI	No es posible realizar imputación en 2016, puesto que corresponde al último año de análisis de la serie histórica
B	B	B	SI	B	SI	Se imputa el valor bosque en 2014 a la unidad de observación
B	SI	SI	NB	SI	SI	No es posible imputar valores en 2012 y 2013 puesto que la serie no registra el mismo valor antes y después, y por tanto no se sabe en qué año ocurrió el cambio de la clase Bosque a No Bosque
B	NB	NB	SI	NB	NB	Se imputa el valor de sin información en 2014, asignando la clase “No bosque” a la unidad de observación

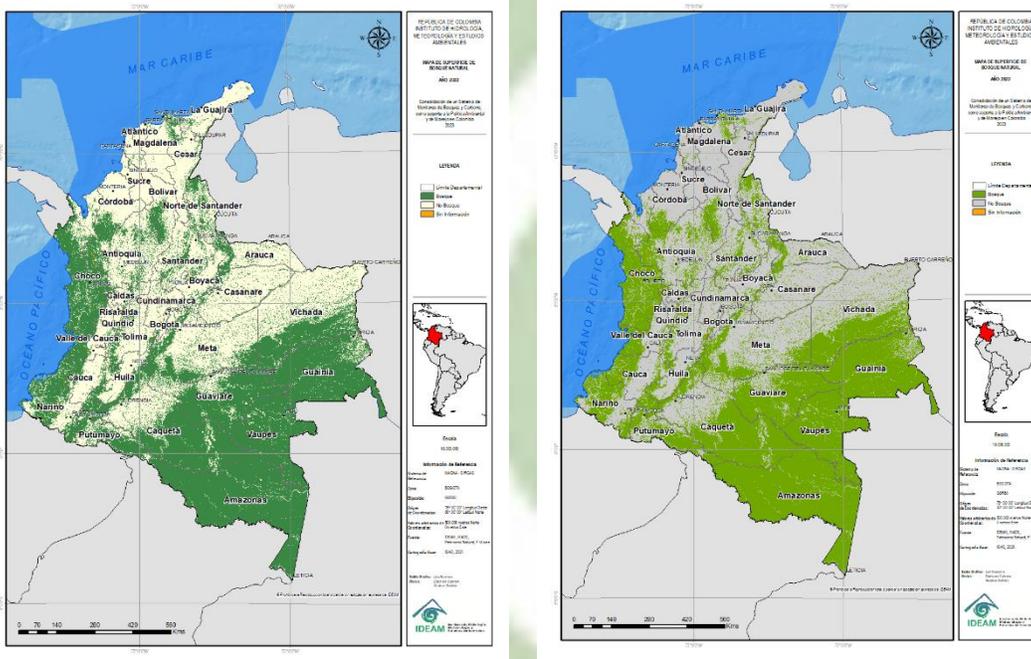
B = Bosque. NB = No bosque. SI = Sin información

Adicional a lo anterior, a continuación se muestra un ejemplo de imputación para unidades de observación “Sin Información” mediante el análisis de consistencia de la serie histórica. En la figura, las unidades de observación con valores de “bosque” se representan en verde, las de “no bosque” en amarillo y las unidades “Sin Información” en naranja. En el ejemplo, existen unidades de observación “Sin Información” en 2008; sin embargo, al realizar el análisis de la serie histórica se observa que estas unidades registran un valor de “bosque” tanto en el periodo anterior (2006) como en el siguiente (2010); por lo tanto, se les asigna este mismo valor en 2008.



Las capas anuales de cobertura de bosque (Bosque no Bosque) empleadas en el estudio fueron ajustadas para poder ser procesadas con el algoritmo MSPA de la siguiente manera: i) recodificación de modo que las áreas de bosque se encontrarán en el primer bit y las áreas de no bosque en el segundo (Figura 11); ii) asignación de tipo de dato a “4-bit”; iii) ajuste en la consistencia de la serie, reduciendo las áreas sin información y así también reducir el impacto que tiene este en el modelo; iv) asegurar un adecuado co-registro entre todos los datos de la matriz histórica de la superficie continental e insular de San Andrés y Providencia tomando en cuenta todos los píxeles de 30,72 X 30,26 m en el sistema de proyección Magna SIRGAS.; ajuste de las áreas marcadas dos veces en la serie como deforestación.

**Figura 11. Superficie de bosque natural original – superficie de bosque natural recategorizado**

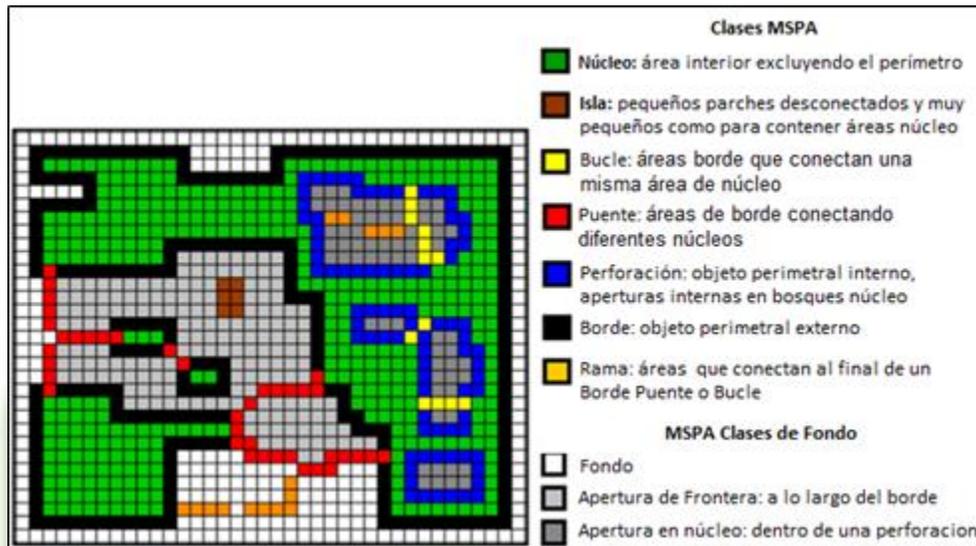


### c. Procesamiento

#### Post estratificación

El algoritmo MSPA fue ejecutado a nivel nacional con los siguientes parámetros: Conectividad (8), Ancho de Borde 4 píxeles (120 metros), transición: (1) e intext (fondo): (1); Los mapas binarios de Bosque no Bosque fueron analizados para derivar siete categorías morfológicas de los bosques que representan patrones espaciales diferentes (Figura 12): 1) Núcleo (core), 2) Isla (Islet), 3) Bucle (Loop), 4) Puente (Bridge), 5) Perforación (Perforation), 6) Borde (Edge) y 7) Rama (Branch).

Figura 12. Categorías generadas por el algoritmo MSPA



Fuente: Modificado de Soille P. and Vogt P. (2022)

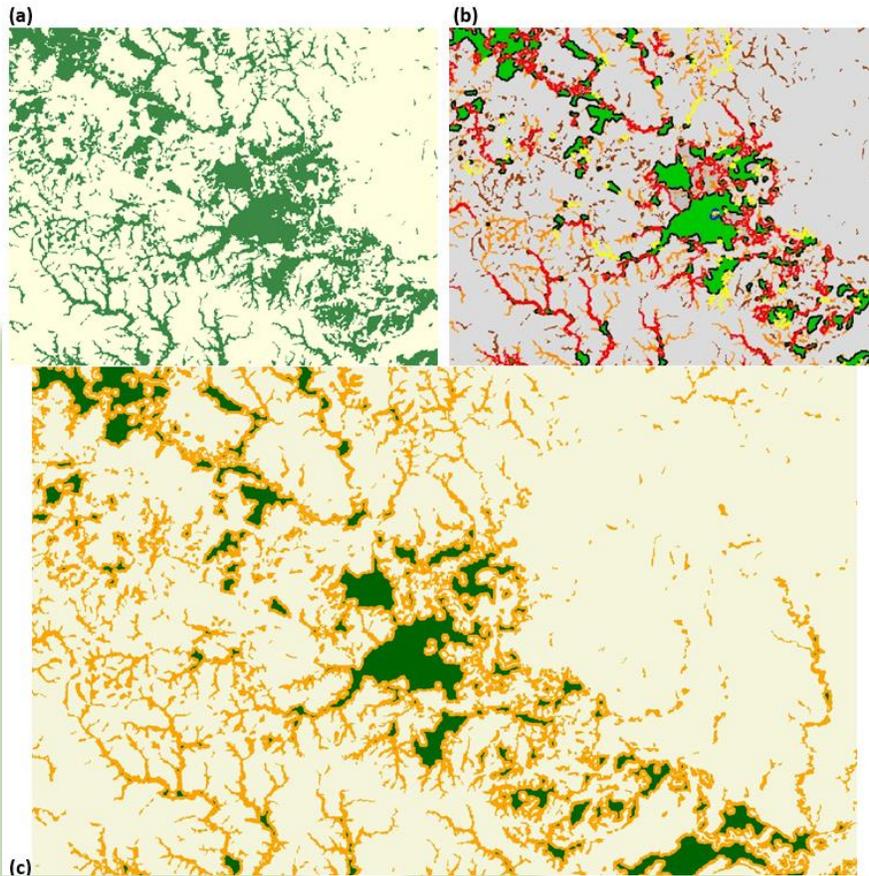
Sin embargo, en vista que los datos del IFN recolectados, procesados y disponibles hasta el momento no son suficientes para obtener un dato representativo para cada una de las categorías generadas por el algoritmo MSPA; y a que adicionalmente en la literatura científica es usual emplear un número bajo de clases (CLEAR, 2023); a las siete categorías originales generadas por el MSPA se les realizó una post-estratificación de modo que se obtuvieron dos categorías: bosque núcleo y bosque borde. El primero representa todas aquellas áreas de bosque que pueden considerarse intactas. Mientras que el segundo (bosque de borde) son todas las áreas con algún tipo de efecto borde y se encuentran a menos de 120 m de un disturbio. (Tabla 5).

Tabla 5. Re categorización MSPA

Clase Original MSPA	Recategorización
Núcleo	Bosque Núcleo
Isla	Bosque Borde
Bucle	Bosque Borde
Puente	Bosque Borde
Perforación	Bosque Borde
Borde	Bosque Borde
Rama	Bosque Borde

Con relación a lo anterior, la Figura 13 muestra la secuencia iniciando en el mapa de superficie de bosque (a), pasando por el resultado del algoritmo MSPA con todas sus clases (b), para luego finalizar con el mapa agrupado en Bosque Núcleo (verde), Bosque Borde (naranja) y No Bosque (blanco) (c).

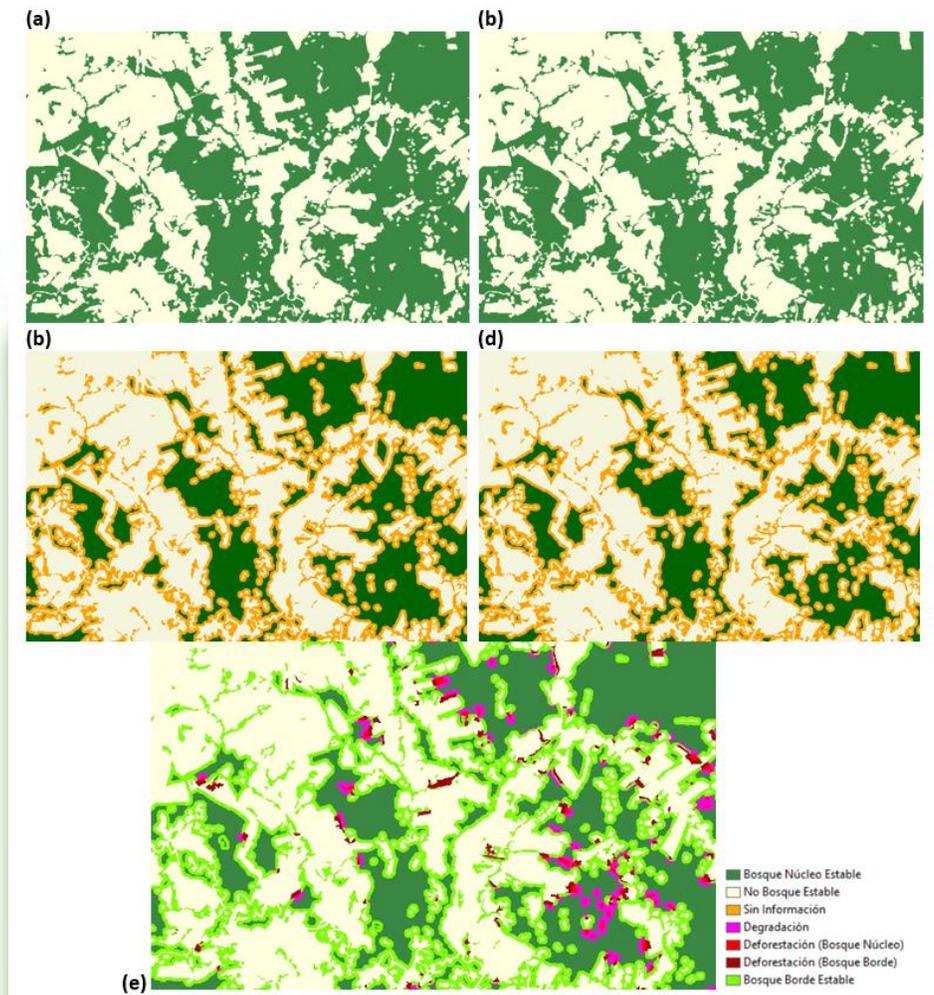
Figura 13. Re-categorización MSPA a tres clases



#### **d. Cuantificación de áreas de cambio**

Para la cuantificación de las áreas de cambio por degradación se tuvieron en cuenta sólo aquellas áreas que presentaron cambio de Bosque Núcleo a Bosque Borde. La cuantificación de estos cambios se realizó entre pares de años consecutivos. Es decir, 2012 – 2013, 2013-2014, 2014-2015 y así sucesivamente hasta cubrir la totalidad del periodo de análisis. En la Figura 14 se muestra la detección de cambios donde (a) y (b) son los insumos (superficie de bosque), (c) y (d) los resultados luego ejecutar el algoritmo MSPA y (e) la identificación de cambios teniendo en cuenta la degradación y deforestación en núcleo y borde.

**Figura 14. Identificación de cambios en la superficie de bosque (deforestación y degradación)**



### **e. Evaluación de exactitud temática**

Se desarrolló un ejercicio de Evaluación de exactitud temática del Mapa de degradación de Bosque en Colombia en el periodo 2017-2018. Este ejercicio se realizó para determinar la Incertidumbre de los datos de degradación y obtener una línea base de los datos de actividad del Mapa de degradación. Las clases o coberturas que se evaluaron fueron Bosque núcleo, Bosque borde, No bosque, Degradación, Deforestación en núcleo y Deforestación en borde.

El ejercicio fue desarrollado por un equipo de cuatro (4) expertos del grupo de intérpretes del IDEAM bajo la siguiente estructura:

- Un líder de la evaluación, quien se encarga de coordinar el trabajo de los intérpretes, realizar el diseño e implementación de una muestra probabilística; realizar la consolidación y verificación de la interpretación; y efectuar el análisis de exactitud.
- Tres (3) profesionales con experiencia en interpretación visual y digital, y entrenados para aplicar el concepto de Cobertura boscosa en imágenes ópticas de media resolución.

Este ejercicio siguió la metodología aplicada por (Olofsson, Foody, Stehman, & Woodcock, 2012), (Olofsson, Foody, & Herold, 2014). (Stehman & Foody, 2019). De la misma forma, cumpliendo las recomendaciones del documento de métodos y orientaciones generada por la Iniciativa Global de Observación de los Bosques (GFOI, por sus siglas en ingles)[1], este procedimiento satisface dos criterios: i) evitar subestimar o sobreestimar los cambios, en la medida en que pueda juzgarse, y ii) Reducir la incertidumbre en la medida de lo posible.

En el este documento se resume la metodología empleada en los ejercicios de evaluación temática y se aborda principalmente tres componentes: (i) un diseño de muestreo probabilístico; (ii) un diseño de la respuesta; y (iii) un análisis para estimar la exactitud, a partir una matriz de error construida mediante estimadores insesgados. Para implementar cada uno de estos componentes se utiliza la aplicación AcATaMa para QGis[2], desarrollada por el equipo del SMBYC y en la cual se encuentran incorporadas las fórmulas y lineamientos de Olofsson et al. (2012, 2014) para generar los muestreos, clasificar las muestras revisando simultáneamente las imágenes de la fecha inicial y final y calcular las medidas de exactitud temática y áreas ajustadas de las clases del mapa de degradación evaluado.

#### **f. Diseño de muestreo.**

La generación de la muestra se basó en el método aleatorio estratificado en función del tamaño del área del estrato. En otras palabras, esta metodología se basa en la proporción que define el número de puntos calculados acorde a la proporción del área y del error. Para aquellas clases de cambio que ocupan una pequeña porción del territorio como la deforestación de núcleo, deforestación borde o degradación, se les asigno un tamaño de muestra lo suficientemente grande para obtener un error estándar pequeño en la exactitud del usuario, la elaboración de estos puntos de muestreo se efectuó utilizando la herramienta AcATaMa de QGIS.

El tamaño de la muestra ( $n$ ) se determina aplicando la ecuación de Cochran (1977) para un diseño de muestreo aleatorio estratificado; se calcula como la sumatoria de los productos de la proporción de área ( $W_i$ ), asociada a cada clase/estrato  $i$ , por los errores estándar ( $S_i$ ) de cada clase/estrato, sobre error estándar de la exactitud global que se desea lograr  $S(o)$ , elevados al cuadrado.

#### Ecuación 7. Cálculo del tamaño de la muestra

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$n = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^n (W_i S_i)}{S_0} \right\rceil^2$	Tamaño de la muestra.	Cochran, 1977

La proporción de área ( $W_i$ ) corresponde al área que ocupa cada clase/estrato en el mapa ( $A_i$ ) respecto al área total de todas las clases /estratos evaluados ( $A_{tot}$ ).

#### Ecuación 8. Cálculo de la proporción de área mapeada

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$W_i = \frac{A_i}{A_{tot}}$	Proporción del área mapeada.	Stehman, 2012

La desviación estándar de cada estrato  $i$  ( $S_i$ ) se calcula como:

#### Ecuación 9. Cálculo de la desviación estándar por estrato

ECUACION	DESCRIPCION
$S_i = \sqrt{U_i(1 - U_i)}$	Desviación estándar por cada estrato ( $i$ ).

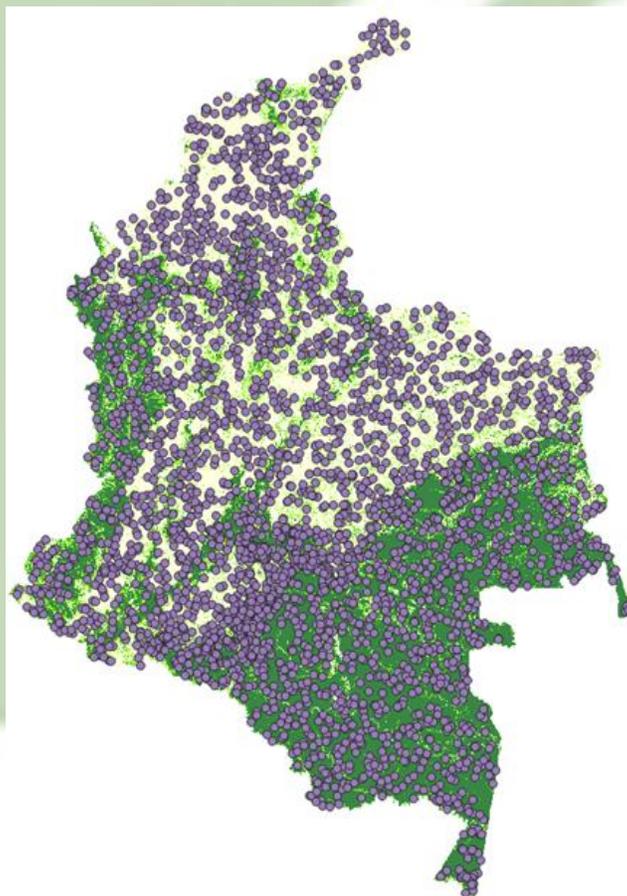
Para la desviación estándar ( $S_i$ ) de los estratos de cobertura estable (Bosque núcleo, bosque borde o No bosque) que ocupan una mayor área en el mapa, se asigna un valor teórico de exactitud de usuario  $U_i$  de 0,9 por considerar que estas clases suelen tener una alta exactitud; mientras que a los estratos de deforestación núcleo, deforestación borde y Degradación se les asigna un valor de  $U_i$  de 0,80, puesto que el error suele ser mayor en las clases de cambio, de acuerdo con (Olofsson, Foody, & Herold, 2014). En la siguiente tabla se resume los resultados de la cantidad de puntos por estratos.

Para evitar inconvenientes de distribución espacial y autocorrelación se establecen para cada ejercicio dos parámetros adicionales como la distancia entre las muestras de al menos 500 metros de separación y el mínimo número de vecinos de la misma clase se recomienda al menos que sean cuatro vecinos de la misma clase. Otro parámetro que se debe establecer es la semilla aleatoria del muestreo, con esto se puede replicar y evaluar la confiabilidad de los datos de la evaluación temática. En la siguiente figura se ejemplifica la generación de los puntos de muestreo del Mapa de Degradación 2017-2018.

**Tabla 6. Diseño de muestreo mapa de Degradación 2017-2018.**

	AREA (ha)	Wi	Puntos de muestreo
<b>1 (Bosque_nucleo)</b>	48.293.452	42,34%	1.266
<b>2 (No_Bosque)</b>	53.841.292	47,21%	1.413
<b>4 (Degradación)</b>	164.032	0,14%	275
<b>5 (Def_nucleo)</b>	65.240	0,06%	200
<b>6 (Def_borde)</b>	131.767	0,12%	225
<b>7 (Bosque_borde)</b>	11.560.337	10,14%	303
	<b>114.056.121</b>	<b>1,00</b>	

**Figura 15. Generación del muestreo Mapa Degradación Colombia 2017 - 2018**



### **g. Diseño de respuesta**

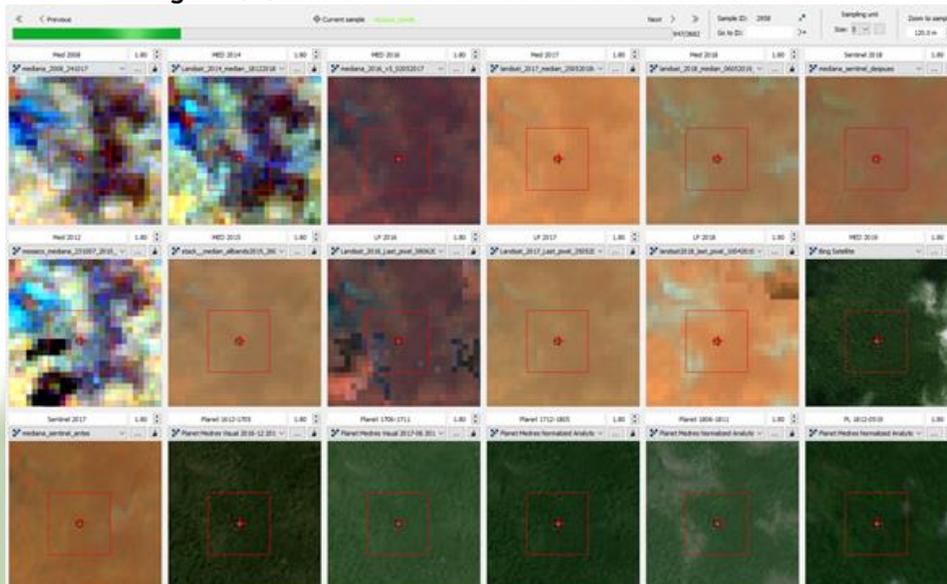
El diseño de la respuesta implica definir la especificación de la unidad espacial de la evaluación, la decisión de qué datos de terreno o imágenes que se recopilar para la etiqueta de referencia, la determinación del protocolo de etiquetado para los datos de referencia y la decisión de cómo se define un acuerdo o desacuerdo temático.

Para precisar este componente en lo correspondiente al Mapa de degradación de bosque, primero se debe especifica la unidad de muestreo que para este ejercicio es un pixel 30m \*30m que es donde cae el punto de muestreo y también se tiene en cuenta un área de cinco pixeles alrededor que es la zona, en el cual se puede registrar degradación o corresponde a bosque borde. Se estableció que la manera de etiquetar o de clasificar la cobertura en cada punto de muestreo se debe elegir la clase o cobertura que corresponda cada pixel 30\*30.

Siguiendo esta misma guía de buenas prácticas, se recomienda que se utilice como datos de referencia un insumo de mayor resolución o producido con mayor calidad al que se utilizó para generar los datos originales. En consonancia con esas recomendaciones, como datos de referencia se utilizan principalmente los mosaicos e imágenes individuales de Landsat 7 ETM+ y 8 OLI y Sentinel 2 generados por el SMBYC. Así mismo, como insumo para mejorar la calidad del dato de referencia se accede a los datos de imágenes de alta resolución de Planet Scope (<https://www.planet.com/>) e imágenes satelitales gratuitas disponibles en los repositorios de GOOGLE e ESRI.

Posteriormente se realiza la Interpretación de los puntos de muestreo, En esta etapa, un equipo de tres profesionales realiza de manera independiente la interpretación visual de cada muestra, aplicando las definiciones de Bosque núcleo, Bosque Borde, Degradación, Deforestación núcleo y Deforestación borde adoptadas por el SMBYC. Con el aplicativo AcATaMa es posible definir una escala de referencia fija para la interpretación, visualizar simultáneamente las imágenes de referencia de las fechas inicial y final del mapa de cambio evaluado, así como seleccionar la clase correspondiente, ver siguiente figura. La interpretación de los puntos se realiza teniendo en cuenta el area circúndate de cinco pixeles al punto del muestreo, pero siempre la etiqueta final es el Pixel evaluado. En el ejemplo se observan los compuestos desde 2008 al 2018 para evaluar el punto de muestreo de la evaluación de exactitud temática del Mapa de degradación periodo 2017-2017.

Figura 16. Clasificación de las muestras utilizando AcATaMa.



<sup>[1]</sup> <https://www.reddcompass.org/mgd/resources/GFOI-MGD-3.1-es.pdf>

<sup>[2]</sup> <https://github.com/SMByC/AcATaMa>

Figura 17. Clases de para etiquetar en la evaluación temática y area de muestreo.



Algunas reglas de protocolo de etiquetado se describen a continuación: La clase sin información se evaluarla correctamente, si en los compuestos de Mediana y Last no se tiene información, pero si en las imágenes Planet Scope el punto se evalúa dependiendo el tipo de cobertura presente en dichas imágenes. Así mismo, en los casos que los mosaicos LANDSAT media y last no tuvieran información ya sea por efectos como las nubes o sombras o simplemente porque el satélite no capturo

información, se realizara la verificación de las imágenes individuales empezando por el último mes del año (diciembre).

La clasificación de las muestras realizada por cada uno de los intérpretes es entregada a la persona líder del proceso, quien se encarga de consolidar los resultados, verificar la interpretación y dirimir las diferencias que se puedan presentar cuando los tres intérpretes no asignan la misma clase a un punto, hasta llegar a un consenso en cada uno de los puntos interpretados. Si un punto de muestreo no tuvo respuesta o información, se seleccionan nuevos puntos de manera aleatoria, siguiendo los criterios de diseño e implementación de muestreo previamente definidos, hasta completar el tamaño total establecido en el diseño muestral.

#### **h. Análisis de la validación de los datos**

En la matriz de error, por lo general, se comparan los datos del mapa dispuestos en las filas y los datos de referencia, organizados en columnas. De tal manera que los valores dispuestos en la diagonal de la matriz de confusión indican el acuerdo entre los dos conjuntos de datos, como se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 7. Matriz de error en términos del resultado de muestreo**

		DATOS DE CLASIFICACION DE REFERENCIA			
		1	2	k	Total $n_{i+}$
Datos de la clasificación del mapa	1	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{1k}$	$n_{1+}$
	2	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{2k}$	$n_{2+}$
	K	$n_{k1}$	$n_{k2}$	$n_{kk}$	$n_{k+}$
	Total $n_{+j}$	$n_{+1}$	$n_{+2}$	$n_{+k}$	$n$

**Fuente:** Stehman & Foody, 2019.

La matriz de error también puede presentarse en términos de proporción del área. En este caso, esta se definiría como, donde  $p_{ij}$  es la proporción de población de la clase, 'i' del mapa y la clase de referencia j,  $W_i$  es la proporción de área mapeada como clase 'i' y, finalmente,  $n_{i+}$  es el tamaño de la muestra del estrato i.

**Tabla 8. Matriz de error en términos de proporción del área.**

		DATOS DE CLASIFICACION DE REFERENCIA				
		1	2	...	k	Total
Datos de la clasificación	1	$p_{11}$	$p_{12}$	...	$p_{1k}$	$p_{1+}$
	2	$p_{21}$	$p_{22}$	...	$p_{2k}$	$p_{2+}$
	...	...	...	...	...	...
	K	$p_{k1}$	$p_{k2}$	...	$p_{kk}$	$p_{k+}$
	Total	$p_{+1}$	$p_{+2}$	...	$p_{+k}$	1

**Fuente:** Stehman & Foody, 2019

La exactitud global o general (O), representa la proporción de área correctamente clasificada y se puede estimar para el muestreo aleatorio estratificado de la siguiente manera:

**Ecuación 10. Cálculo de la exactitud global o general**

ECUACION	DESCRIPCION
$O = \sum_{i=1}^c p_{ii} = \sum_{i=1}^k W_i \frac{n_{ii}}{n_{i+}}$	Exactitud global o general.

La exactitud del usuario, para una clase de cubierta terrestre i, se indica como la probabilidad de que un área clasificada como "i" en el mapa producido sea clasificada como "i" en los datos de referencia. Esta medida cuantifica los errores de comisión de cada uno de los estratos en el mapa. A esta corresponde la siguiente ecuación de la exactitud del usuario (U) para el caso del muestreo aleatorio estratificado:

**Ecuación 11. Cálculo de la exactitud del usuario**

ECUACION	DESCRIPCION
$U_i = \frac{p_{ii}}{p_{i+}}$	Exactitud del usuario (U)

La exactitud del productor se especifica cuando la probabilidad de que una cubierta terrestre de clase j en los datos de referencia, se clasifique como j en el mapa producido. Esta medida se relaciona con la estimación de la proporción de los errores de omisión del mapa. También se puede estimar la exactitud del productor (P) para el caso del muestreo aleatorio estratificado:

**Ecuación 12. Cálculo de la exactitud del productor**

ECUACION	DESCRIPCION
$P_j = \frac{p_{jj}}{p_{+j}}$	Exactitud del productor (P)

Por último, las áreas de las clases del mapa de cambio son ajustadas con base en la proporción de áreas derivadas de los datos de referencia (muestras clasificadas), multiplicadas por el área total evaluada ATot, La incertidumbre de la estimación está representada por el error estándar que se utilizó para construir intervalos de confianza

del 95%. En la siguiente tabla se resume los estimadores para el muestreo aleatorio estratificado:

**Tabla 9. Estimadores para el muestreo aleatorio estratificado**

Estimadores	Estimador de la proporción del área $\hat{p}_{+k}$	Estimador de varianza del área $\hat{V}(\hat{p}_{+k})$
<b>Estratificado</b>	$p_{ij} = W_i * (n_{ij}/n_i)$	$\hat{V}(\hat{p}_{+k}) = \sum_{i=1}^c W_i^2 \hat{p}_i (1 - \hat{p}_i) / n_{i+}$ $\hat{V}(\hat{p}_{+k}) = \sum_{i=1}^c \frac{W_i^2 \hat{p}_{ik} - p_{ik}^2}{n_i - 1}$ <p>Donde <math>\hat{p}_i = \hat{p}_{ik}/p_{i+}</math> es la proporción estimada del área de la clase k en el estrato i.</p>

Fuente: Stehman S, 2013; Olofsson, et al., 2014.

### i. Incertidumbre

Las fuentes de incertidumbre que pueden afectar a los datos de actividad asociados a la deforestación vienen dadas por tres factores: El primero está relacionado con los errores aleatorios asociados principalmente al diseño de muestreo. El segundo factor está relacionado a errores sistemáticos tal como el de clasificación o el sesgo del intérprete, o los asociados a los errores de los datos de referencia y los del mapa original y el tercero por errores de localización, de consistencia o de temporalidad de los datos.

Estas fuentes de incertidumbre de degradación se cuantifican evaluando el coeficiente de variación que es la relación entre la desviación estándar y el estimador de proporción de área de clase degradación. estimando el intervalo de confianza del 95 por ciento.

## 8.5 Factores de emisión

El presente NREF contiene mejoras técnicas en lo que corresponde a sus factores de emisión en virtud a un mayor número de unidades muestrales incluidas en comparación con su antecesor y a la inclusión de un nuevo depósito de carbono tal como se indicó en el numeral 6. Estos factores de emisión proceden de la información recopilada en el marco de la implementación del IFN (IDEAM, 2023). Para tal efecto, fueron analizados 953 unidades (conglomerados) que corresponde al 64,4% del tamaño muestral del IFN, lo que implicó un incremento de la muestra de más del 300% en comparación de los 303 conglomerados que fueron considerados para el anterior NREF<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> Ver numeral 7.4.1 del NREF 2018 – 2022. Disponible en: [https://redd.unfccc.int/files/18-08-2020\\_nref\\_colombia\\_v8.pdf](https://redd.unfccc.int/files/18-08-2020_nref_colombia_v8.pdf)

El IFN está basado en un diseño geoestadístico y en una metodología estandarizada para la toma de datos en campo. El tipo de muestreo empleado en el IFN es probabilístico, post-estratificado y de conglomerado de áreas. El diseño muestral planteado en el IFN corresponde a un Muestreo Aleatorio Simple de Conglomerados (MASC) y la selección de los puntos de muestra (conglomerados), se realiza a través de un marco geoestadístico (MGE) que permite identificar el universo de estudio y el espacio geográfico en el que estos se encuentran, lo que posibilita a su vez definir el acceso a estos puntos y apoyar la planificación y desarrollo del operativo de campo, y sobre el cual se realizan los análisis estadísticos necesarios para el proceso (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2023).

### 8.5.1 Origen y tratamiento de los datos de campo

La unidad de muestreo en campo corresponde a un conglomerado, consistente en un arreglo de cinco (5) parcelas circulares de 0,0707 hectáreas cada una, dispuestas en cruz y distanciadas entre los centros de cada subparcela en 80m; así, se tiene un área total de 0,3535 hectáreas por conglomerado.

Para el cálculo de tamaño de muestra, fueron probadas tres variables que el IFN consideró las técnicamente más importantes; las cuales corresponden a el diámetro normal a 1,30 m (DAP), el área basal (AB) y el volumen, para lo cual fue empleado la siguiente fórmula:

**Ecuación 13. Cálculo del tamaño de muestra**

ECUACION	DESCRIPCION
$n = \frac{S^2}{y_{\bar{u}}^{-2}cve^2 + \frac{S^2}{N}}$	Cálculo del tamaño de muestra
$S^2 = \sigma^2 DEFF$	Cuadrado de la desviación estándar
<p><b>Parámetros y descriptores:</b>  n= tamaño de la muestra  S= desviación estándar  <math>\sigma^2</math> = varianza de la variable guía (volumen, área basal, DAP)  <math>y_{\bar{u}}^{-2}</math> = media de la variable guía (volumen, área basal, DAP)  N = tamaño poblacional (total de conglomerados teóricos equivalente a 322.657.672)  DEFF = efecto del diseño, relación entre la varianza del diseño propuesto MASC y el MAS (en este caso equivale a 1,5).  cve = error muestral (en este caso se propusieron tres escenarios = 5%, 6% y 7%)</p>	

Con base en lo anterior, se establecieron tres escenarios de muestra según como se indica en la Tabla 10:

**Tabla 10. Escenarios de tamaño de muestra**

VARIABLE	cve=5%	cve=6%	cve=7%
<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	1.479	1.027	754
<b>Área basal (m<sup>2</sup>)</b>	562	390	287
<b>DAP (cm)</b>	559	389	286

Fuente: IDEAM, 2023

A partir de lo anterior, se optó por trabajar con la variable volumen y un error de muestreo (cve) del 5%, lo cual arrojó un tamaño de muestra de 1.479 conglomerados. Esta muestra fue distribuida de manera proporcional para cada una de las regiones naturales que conforman el territorio nacional con base en su extensión superficial (Tabla 11).

**Tabla 11. Tamaños de muestra por región**

REGION	TAMAÑO MUESTRAL
<b>Amazonía</b>	595
<b>Andes</b>	379
<b>Caribe</b>	200
<b>Orinoquía</b>	218
<b>Pacífico</b>	87
<b>TOTAL</b>	<b>1.479</b>

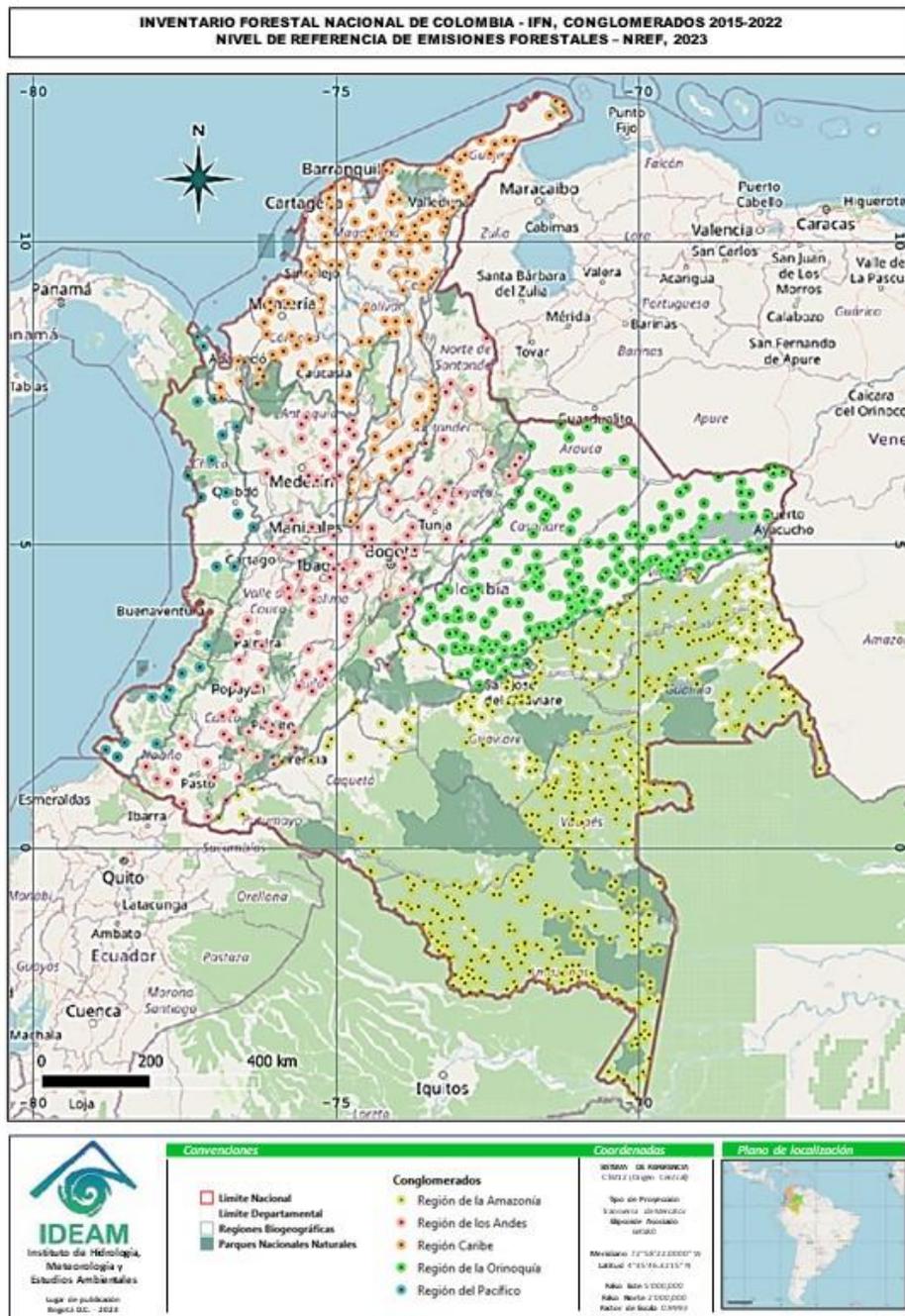
Fuente: IDEAM, 2023

En la Figura 18 se puede visualizar la distribución de los 953 conglomerados considerados para la actualización de los factores de emisión para cada región.

En el documento “Cálculo de los factores de emisión para los sumideros forestales de carbono: biomasa aérea, biomasa subterránea, carbono orgánico del suelo y detritos de madera, a partir de los datos del inventario forestal nacional” (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2023), se efectúa una detallada explicación de la metodología utilizada para calcular los contenidos de biomasa y carbono de los bosques nacionales, lo que incluye los procedimientos de preparación de los datos previos a su análisis estadístico como la limpieza de datos, validación de la información botánica, estimadores, factores de expansión y calibración de datos. Para efectos de comprender el origen de los factores de emisión, en el presente documento se hace énfasis en los procedimientos metodológicos utilizados para determinar los contenidos de carbono en cada uno de los depósitos considerados, los cuales también pueden ser consultados con mayor detalle en la publicación previamente señalada<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Este documento hace parte de los anexos del presente NREF. Ver Anexo A

Figura 18. Ubicación geográfica de los 953 conglomerados implementados en la fase 2015 – 2022 del IFN



Fuente: IDEAM, 2024

### 8.5.2 Cálculos dasométricos, de suelo y detritos de madera

A cada uno de los individuos registrados en los conglomerados se les midió el diámetro normal a 1.3 m de su altura, y en caso de que el punto de observación de la medida (POM) se hubiese tomado a otra altura en presencia de algún tipo de irregularidad, se estima el diámetro normal a través del factor de reducción diamétrica (FRD), por medio del cual se cuantifica la tasa de cambio del diámetro en función de la altura (Rojas & Murillo, 2000), descrito a continuación:

**Ecuación 14. Cálculo del diámetro normal a partir del factor de reducción diamétrica (FRD)**

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$FRD = \frac{d}{H - H_d}$	Factor de reducción diamétrica	Rojas & Murillo, 2000
$dap = d + (H_d - 1,3) * FRD$	Diámetro normal en función del FRD	Rojas & Murillo, 2000
<p><b>Parámetros y descriptores:</b>  dap= diámetro normal a 1,30 metros de altura (m)  d= diámetro del punto de observación de la medida (POM) (cm)  H = altura total del árbol (m)  H<sub>d</sub> = altura de medición del diámetro del POM (m)</p>		

A través del FRD se corrige el diámetro normal cuando el diámetro se toma a una altura diferente de 1,30m según se registra en campo el POM. Los diámetros tomados por encima del 1,30 m son menores que el diámetro normal, y diámetros tomados por debajo del 1,30 m son mayores que el diámetro normal, con base a lo anterior, el uso del FRD evita que se presenten subvaloraciones o sobrevaloraciones del área basal, al corregir el diámetro a su correspondiente diámetro normal.

En presencia de datos dendrométricos faltantes, tales como la densidad de la madera, el diámetro normal o la altura, se emplea un proceso de reemplazo con los datos disponibles, lo cual es común en inventarios de gran volumen de información, y obtenidos con diferentes operadores en campo. Si bien existen varios procedimientos para enfrentar los datos faltantes (*missing values*) a partir del análisis de datos completos (*listwise o case deletion* LD), datos disponibles (*pairwise deletion*), el método de medias o el *hot-deck*, en el presente estudio se empleó para la imputación de densidad de la madera el método de las medias a partir de la base de datos global (Chave *et al.*, 2009), y para los casos del diámetro normal y la altura total el modelo de Weibull.

La imputación de la altura se lleva a cabo a los registros que no posean el dato del registro de la altura, o aquellos cuyo índice de esbeltez ( $H/dap$ ) es menor de 0.1 y mayor de 3 (individuos de gran diámetro con una altura mínima, o viceversa, árboles con un diámetro mínimo con alturas de gran porte, respectivamente), para lo cual se emplea el modelo de Weibull, cuyos parámetros se diferencian por región y hábito de crecimiento (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2023).

**Ecuación 15. Cálculo de la altura total del árbol en función del diámetro normal (dap)**

ECUACION	DESCRIPCION
$H = a * (1 - e^{-\left(\frac{dap}{b}\right)^c})$	Estimación de la altura en función del diámetro normal (dap).
<b>Parámetros y descriptores:</b> H = altura total del árbol (m) dap= diámetro normal a 1,30 metros de altura (cm) a, b, c = parámetros del modelo Weibull	

El modelo asintótico de Weibull fue aplicado de manera independiente para las cinco regiones geográficas que comprenden el territorio nacional y se utilizó en la modelación de las tres tipologías vegetales analizadas (hábitos) cuyos resultados se presentan en la Tabla 12.

**Tabla 12. Parámetros del modelo Weibull por región y habito de crecimiento**

REGION	HABITO	a	b	c	RMSE
Amazonía	Árbol	34.7056	25.6204	0.8172	4.75
Andes	Árbol	25.6670	21.5046	0.9005	6.57
Caribe	Árbol	29.5603	25.7037	1.0393	7.85
Orinoquía	Árbol	27.3209	37.5610	0.6657	3.21
Pacífico	Árbol	31.0021	14.0900	1.4057	10.03
Nacional	Helecho arbóreo o palma	13.7368	8.0571	1.7709	6.23
<b>Parámetros y descriptores:</b> a/b/c: parámetros del modelo Weibull RMSE: Raíz del error cuadrático medio					

Fuente: IDEAM, 2024

La estimación de la biomasa aérea de los árboles se obtuvo a través del modelo de Chave *et al.* (2014) tal como se presenta en la siguiente ecuación:

**Ecuación 16. Biomasa aérea por árbol**

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$AGB = 0,0673 * (dap^2 * H * \rho)^{0,976}$	Biomasa aérea por árbol	Chave <i>et al.</i> , 2014
<b>Parámetros y descriptores:</b> AGB = biomasa aérea (kg) dap= diámetro normal a 1,30 metros de altura (cm) H = altura total del árbol (m) P = densidad básica de la madera (g cm <sup>-3</sup> )		

## Recuadro 2. Uso del modelo alométrico de Chave et.al. (2014) para predecir la biomasa aérea

Para la estimación de la biomasa aérea de los árboles que conforman los conglomerados del IFN, Colombia ha optado por una ecuación genérica que ha sido probada en bosques tropicales. No obstante, debe mencionarse que previamente han sido desarrollados modelos locales como los propuestos por Álvarez. et al (2012) en su publicación “*Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia*”. En dicho estudio, los autores contrastaron los modelos alométricos Tipo I y Tipo II desarrollados por Chave et al. (2005) en su artículo denominado “*Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests*” contra el modelo alométrico de Brown et. al. (1989) “*Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data*”, entre otros modelos alométricos propuestos por los mismos autores. Se debe hacer la salvedad que el set de datos con los cuales trabajaron Álvarez et. al. (2012) hicieron parte del set de datos para el ajuste del modelo alométrico propuesto posteriormente por Chave et. al. (2014) “*Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees*”, modelo implementado para las estimaciones de biomasa del IFN 2015 – 2022.

A continuación, se enuncian algunas consideraciones técnicas por las cuales no se hizo uso de los modelos alométricos recomendados por Álvarez et. al. (2012) para Colombia:

- El estudio de Álvarez et. al. (2012), no consideró sitios en la región de la Orinoquía, sin embargo, dicha región representa el 21,20% del total de los conglomerados del IFN y corresponde a ecosistemas de sabanas y bosques de galería, los cuales no pueden ser asimilables a ecosistemas de las demás regiones por poseer condiciones climáticas semiáridas con una marcada temporalidad de lluvias.
- En el estudio de Álvarez et. al. (2012) se ajustó modelos alométricos con individuos a partir de un dap > 10 cm; a diferencia de Chave et. al. (2014) que ajustaron el modelo con individuos a partir de un dap > 5 cm (latizales, fustales y fustales grandes). Este último modelo alométrico se aproxima al rango de clases diamétricas del IFN con un dap > 2,5 cm (latizales, fustales y fustales grandes).
- Álvarez et. al. (2012), consideran que el mejor modelo alométrico para Colombia es el modelo de Brown et. al. (1989) ( $AGB = 0.0899(\rho D^2 H)^{0.9522}$ ), que se ajusta a todas las condiciones climáticas de Colombia al incluir el diámetro, la altura y la densidad específica de la madera. Sin embargo, reconocen que los modelos alométricos evaluados generan una sobreestimación de la AGB en los bosques húmedos de Colombia, lo que correspondería a una sobreestimación del 89,51% de la AGB de los conglomerados del IFN 2015-2022, que se encuentran presentes en dichas condiciones climáticas.
- Álvarez, et al (2012) no consideraron coberturas con bosques secundarios, aun cuando levantaron en sitio SCRion con estas características, lo excluyeron al no poseer las mismas características del resto de sitios evaluados. Chave et. al. (2014) por su parte, incluyeron cinco sitios en bosques secundarios para el ajuste del modelo alométrico; los bosques secundarios están incluidos dentro del IFN.
- Álvarez et. al. (2012) justifican que el sesgo del modelo de Chave et. al. (2005) Tipo I se debe a la inclusión de árboles de Asia con mayor tamaño que los árboles de la Amazonía colombiana, sin embargo, el estudio de Brown et. al. (1989) también hizo uso de muestras de Asia. No obstante en Chave et. al. (2014) incluyeron sitios de bosques tropicales tanto de África como de América Latina.
- Inicialmente Chave et. al. (2005) proponían los siguientes modelos:  $AGB=0.112(\rho D^2 H)^{0.916}$  para clima seco,  $AGB=0.0509(\rho D^2 H)$  para clima húmedo y  $AGB=0.0776(\rho D^2 H)^{0.940}$  para clima muy húmedo para los modelos alométricos Tipo I, posteriormente, Chave et. al. (2014) lo simplificaron a un solo modelo independiente de la condición climática ( $AGB=0.0673(\rho D^2 H)^{0.976}$ ), argumentando que el mismo no varía en función de la región o las condiciones ambientales y, por lo tanto, aplicable a cualquier vegetación de coberturas boscosas en áreas tropicales.

Dado que el rango de aplicabilidad de dicha ecuación alométrica es de 5 a 212 cm de diámetro, los individuos con diámetro menor a 5 cm fueron excluidos de los cálculos,

mientras que a los árboles que excedieron el diámetro máximo empleado para ajustar la ecuación, se les asignó dicho valor (i.e. 212 cm) para estimar su biomasa aérea.

Sin embargo, de igual manera se están registrando individuos con otros hábitos de crecimiento, tales como palmas y helechos arbóreos, para los cuales se hace uso de los siguientes modelos de biomasa (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2023):

**Ecuación 17. Biomasa aérea para palmas y helechos arbóreos**

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$\ln(AGB) = 0,36 + 1,218 * \ln(H)$	Biomasa aérea para palmas	Sierra <i>et al.</i> (2007)
$AGB = 3,82H - 3,62$	Biomasa aérea para helechos	Weaver (2000)
<b>Parámetros y descriptores:</b> AGB = biomasa aérea (kg) H = altura total de la palma/helecho (m)		

Una vez se realizaron estimaciones agregadas por conglomerado, los valores fueron extrapolados a hectárea ( $t\ ha^{-1}$ ). Con este último valor se estimó la biomasa subterránea (raíces) utilizando el modelo de Cairns *et al.* (1997):

**Ecuación 18. Biomasa subterránea**

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$\ln(BRG) = -1,085 + 0,9256 * \ln(AGB)$	Cálculo de la biomasa subterránea	Cairns <i>et al.</i> (2007)
<b>Parámetros y descriptores:</b> BRG: biomasa subterránea (kg) AGB: biomasa aérea (kg)		

El carbono total (CT) fue derivado de la biomasa total, a partir de la suma de la biomasa aérea (AGB) y la biomasa subterránea (BRG) y multiplicándolo por la fracción del carbono contenida en la biomasa seca (0,47) como se indica en la siguiente fórmula:

**Ecuación 19. Estimación del carbono total**

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$CT = 0,47 * (AGB + BRG)$	Estimación del carbono total	Derivada de IPCC, 2006
<b>Parámetros y descriptores:</b> CT = carbono total (kg) BRG: biomasa subterránea (kg) AGB: biomasa aérea (kg)		

Los datos de carbono del suelo provienen de la recolección de cinco muestras por conglomerado. Cada muestra consiste aproximadamente de 400 g de suelo, extraídos a una profundidad entre 0-30 cm. Adicionalmente, se tomaron muestras de suelo para estimar la densidad aparente del suelo.

Para estimar los contenidos de carbono orgánico en el suelo, primero se calculó la densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ), el cual representa la densidad promedio de todos los materiales presentes en el suelo.

Los contenidos de carbono en los suelos (COS) se estimaron a partir de la relación entre los resultados de la concentración de carbono en las muestras de suelo (obtenidas en el laboratorio), la densidad aparente del suelo y la profundidad hasta la cual se tomó la muestra, obteniendo la cantidad de COS en  $\text{kgC ha}^{-1}$ , o al dividirse este valor por 1000, la cantidad de  $\text{tC ha}^{-1}$  de COS (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2023).

La estrategia de muestreo de detritos de madera se ha diseñado en concordancia con el marco geoestadístico del IFN utilizando como unidad mínima de muestreo cada conglomerado, el cual está compuesto por cinco (5) subparcelas forestales anidadas a un centroide, dentro de estas 5 subparcelas se realiza el muestreo en dos (2) subparcelas ubicadas en el norte y sur del conglomerado, donde en transectos de 30 metros de longitud, cuatro (4) por cada una, se realiza el respectivo muestreo de detritos (IDEAM, 2021).

Dentro de este enfoque de muestreo exhaustivo, se realiza la evaluación detallada de diversos tipos de detritos, abarcando desde los fragmentos más pequeños de madera, clasificados como detritos finos de madera (DFM), hasta los trozos más voluminosos, denominados detritos gruesos de madera (DGM). Para el presente NREF no se incluyó la hojarasca como parte del análisis de la materia orgánica muerta (ver recuadro 3)

El muestreo de detritos de madera (DM) permite estimar la necromasa contenida en árboles muertos en pie (MP), tocones muertos (TM) y detritos de madera sobre el suelo (DMS), que consisten en árboles y ramas caídas. Los MP y TM son medidos al interior de cada uno de los conglomerados. En el caso de los DMS, representados por las categorías de detritos finos (DFM; diámetro  $< 20$  cm) y gruesos (DGM; diámetro  $\geq 20$  cm), el muestreo se realizó en dos subparcelas por cada conglomerado. Para ello, en las subparcelas SPF-2 y SPF-4, se establecieron cuatro (4) transectos de 30 m de largo cada uno (equivalentes a dos de 60 m cada uno), divididos en secciones de 10 m. Una explicación con mayor nivel de detalle respecto del enfoque metodológico usado para cuantificar los detritos de madera puede ser consultado en Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2023).

### **8.5.3 Reservas de biomasa y carbono en ecosistemas boscosos de Colombia**

Con base en el análisis de los datos recolectados de los 953 conglomerados considerados para el presente NREF, se obtuvieron los resultados que se presentan en las tablas subsiguientes desagregadas para cada región y por cada depósito de carbono.

### Recuadro 3. Exclusión de la hojarasca

El Inventario Forestal Nacional de Colombia está implementado sobre conglomerados (arreglo de cinco subparcelas distribuidas en cruz) de carácter temporal, por lo que no está considerando actualmente la ubicación de trampas de hojarasca, asociadas al monitoreo de parcelas permanentes, ya que su medición se realiza en periodos de mayor frecuencia que las mediciones del IFN. Es importante considerar adicionalmente, la baja representatividad del contenido de materia seca acumulada en este componente y su baja permanencia en el tiempo, debido a la alta tasa de descomposición de la hojarasca en bosques tropicales por bacterias, hongos y detritívoros; por lo que su inclusión incurriría en altos costos para su recolección, mas aún considerando las distancias y tiempos de desplazamiento para acceder nuevamente a un conglomerado (i.e: en Amazonía y Orinoquía incluso de varios días), difícil accesibilidad y riesgos locales, entre otros, imposibilita la posterior recolección del material capturado en las trampas de hojarasca.

De acuerdo a los resultados de estimaciones de emisiones realizadas en el marco de los inventarios de gases de efecto invernadero presentados en el Tercer reporte bienal de actualización de Colombia BUR 3, las emisiones promedio para la serie histórica 1990-2018 de hojarasca estimadas con factores de emisión por defecto, corresponden al 0,6% de las emisiones nacionales y al 1,8% respecto al total de las emisiones por deforestación, por lo tanto, se considera que no son representativas y no justifican los grandes esfuerzos que se deben llevar a cabo para la recolección de la información necesaria.

Por otra parte, dado que el NREF es un documento insumo para el pago por resultados en actividades REDD en el país, las estimaciones de emisiones presentadas no hacen uso de factores de emisión por defecto y se calculan con la información disponible del país por Tier 2, que permite tener más exactitud frente a las estimaciones reportadas.

La biomasa aérea presentó valores desde 82,42 t ha<sup>-1</sup> para el caso de la región Caribe hasta 246,52 t ha<sup>-1</sup> para el caso de la Amazonía. La biomasa subterránea fluctuó entre 17,60 t ha<sup>-1</sup> para Caribe hasta 51,01 t ha<sup>-1</sup> para Amazonía. La biomasa total (aérea y subterránea sumadas) presentó valores desde 100,02 t ha<sup>-1</sup> en Caribe hasta 297,53 t ha<sup>-1</sup> en la Amazonía (Tabla 13).

**Tabla 13. Cantidad de biomasa aérea, subterránea y total calculada por bioma**

REGION	ESTRATO	BIOMASA AEREA <sup>(a)</sup>			BIOMASA SUBTERRANEA			BIOMASA TOTAL		
		(t ha <sup>-1</sup> )	se	cve	(t ha <sup>-1</sup> )	se	cve	(t ha <sup>-1</sup> )	se	cve
Amazonía	B	246,52	3,93	1,60	51,01	0,75	1,47	297,53	4,68	1,57
Andes	B	86,38	7,40	8,56	19,01	1,54	8,11	105,39	8,93	8,48
Caribe	B	82,42	9,75	11,83	17,60	1,89	10,74	100,02	11,63	11,63
Orinoquía	B	83,07	4,80	5,77	18,51	1,00	5,38	101,59	5,79	5,70
Pacífico	B	226,86	35,95	15,85	45,98	6,54	14,22	272,85	42,46	15,56

**Parámetros y descriptores**

se: desviación estándar

cve: coeficiente de variación

(a) La biomasa aérea fue calculada para individuos con dap  $\geq$  5 cm

Fuente: IDEAM, 2024

En la Tabla 14 se presentan los contenidos de carbono para los depósitos de la biomasa aérea, subterránea y total que resultan de multiplicar los valores de la Tabla 13 por la fracción de carbono presente en la biomasa seca (0,47).

**Tabla 14. Carbono almacenado en la biomasa aérea, subterránea y total calculada por bioma**

REGION	ESTRATO	BIOMASA AEREA (tC ha <sup>-1</sup> )			BIOMASA SUBTERRANEA (tC ha <sup>-1</sup> )			BIOMASA TOTAL (tC ha <sup>-1</sup> )		
		se	cve		se	cve		se	cve	
Amazonía	B	115,87	1,85	1,60	23,97	0,35	1,47	139,84	2,20	1,57
Andes	B	40,60	3,48	8,56	8,93	0,72	8,11	49,53	4,20	8,48
Caribe	B	38,74	4,58	11,83	8,27	0,89	10,74	47,01	5,47	11,63
Orinoquía	B	39,04	2,25	5,77	8,70	0,47	5,38	47,75	2,72	5,70
Pacífico	B	106,62	16,90	15,85	21,61	3,07	14,22	128,24	19,96	15,56

**Parámetros y descriptores**  
se: desviación estándar  
cve: coeficiente de variación

Fuente: IDEAM, 2024

Los resultados de los contenidos de carbono orgánico del suelo (COS) en los ecosistemas forestales nacionales y desagregados por región, se presentan en la Tabla 15. Estos contenidos de carbono variaron entre 34,73 tC ha<sup>-1</sup> en la región de la Orinoquía hasta 94,17 tC ha<sup>-1</sup> en la región andina. Para efectos de la construcción del factor de emisión, la cifra de COS reportada a nivel nacional es dividida por 20, en consideración a la presunción adoptada por el país en lo que corresponde a la permanencia del carbono en el suelo con posterioridad al evento de deforestación. Acogiendo las directrices del IPCC (2006), se asume la pérdida gradual del contenido de carbono edáfico en un marco temporal de 20 años.

**Tabla 15. Carbono orgánico del suelo (COS) acumulado en los ecosistemas boscosos de Colombia**

REGION	ESTRATO	COS (tC ha <sup>-1</sup> )	se	cve
Amazonía	B	48,35	2,64	5,46
Andes	B	94,17	10,60	11,26
Caribe	B	42,17	5,14	12,19
Orinoquía	B	34,73	2,99	8,62
Pacífico	B	88,20	23,55	26,71

**Parámetros y descriptores**  
se: desviación estándar  
cve: coeficiente de variación

Fuente: IDEAM, 2024

Una nueva mejora técnica que incorpora el presente NREF, tiene que ver con la inclusión de un nuevo depósito de carbono, en este caso, los detritos de madera que se suman a los depósitos de biomasa aérea, biomasa subterránea y carbono orgánico del suelo. En el marco de ejecución del IFN, se efectuó la medición de tres componentes de la necromasa forestal: árboles muertos en pie (MP)<sup>14</sup>, detritos gruesos de madera (DGM)<sup>15</sup> y detritos finos de madera (DFM)<sup>15</sup> (Tabla 16). El contenido de carbono en los detritos de madera fluctuó

<sup>14</sup> Incluye tocones muertos.

<sup>15</sup> El protocolo de medición de los detritos de madera puede ser consultado con mayor nivel de detalle en el documento “Cálculo de los factores de emisión para los sumideros forestales de carbono: biomasa aérea, biomasa subterránea, carbono orgánico del suelo y detritos de madera, a partir de los datos del inventario forestal nacional” (IDEAM, 2023).

de un valor máximo de 9,93 tC ha<sup>-1</sup> para la región de la Amazonía hasta un valor mínimo de 2,53 tC ha<sup>-1</sup> para la región Caribe, los cuales se encuentran dentro del rango reportado por diferentes investigaciones adelantadas en ecosistemas tropicales (Palace *et al.*, 2012)<sup>16</sup>.

**Tabla 16. Contenidos de carbono en los diferentes componentes de los detritos de madera**

REGION	ESTRAT O	MP y TM (tC ha <sup>-1</sup> )	se		DETritos FINOS (tC ha <sup>-1</sup> )			DETritos GRUESOS (tC ha <sup>-1</sup> )		
			se	cve	se	cve	se	cve	se	cve
Amazonía	B	4.32	0.21	4.79	2,58	0,18	6,94	3,03	0,24	7,96
Andes	B	1.52	0.36	23.88	1,09	0,28	26,13	0,39	0,19	48,25
Caribe	B	1.19	0.28	23.80	0,85	0,28	33,33	0,49	0,19	39,37
Orinoquía	B	1.20	0.17	14.02	1,65	0,35	21,34	1,63	0,34	20,88
Pacífico	B	2.20	0.88	40.18	0,06	0,02	36,53	1,18	0,36	30,75

**Parámetros y descriptores:**  
 se: desviación estándar  
 cve: coeficiente de variación  
 MP: árboles muertos en pie  
 TM: tocones muertos

Fuente: IDEAM, 2024

## 8.5.4 Factores de emisión por deforestación y degradación

### 8.5.4.1 Consideraciones para deforestación

La conversión de tierras forestales a otro tipo de tierras implica la eliminación de la cobertura arbórea existente para dar paso a otro uso del suelo (deforestación). Esta conversión supone la pérdida del carbono contenido en la biomasa y en la necromasa en el momento en que ocurre el evento. En lo que respecta al carbono orgánico del suelo, su liberación se produce de manera gradual durante un periodo por defecto de 20 años, según las indicaciones del IPCC (2006). En este sentido los compartimentos que serán considerados para la estimación de emisiones por deforestación corresponden a: Biomasa Aérea, Biomasa Subterránea, Carbono Orgánico del Suelo, Detritos de Madera, Árboles Muertos en Pie y Tocones Muertos. Es importante resaltar que la Biomasa Subterránea se calcula como una fracción de la biomasa aérea empleando lo planteado en la Ecuación 17.

### 8.5.4.2 Consideraciones para degradación

Los contenidos de carbono de referencia para el cálculo de los factores de emisión para degradación están basados en las siguientes asunciones:

- La materia orgánica muerta (detritos de madera) se presume en equilibrio dado que no es posible determinar las transferencias de carbono desde la biomasa aérea mediante la metodología adoptada, lo cual impide saber si estas existencias

<sup>16</sup> Mediante recopilación de información procedente de fuentes secundarias, Palace *et al.*(2012) constataron variaciones en la cantidad de necromasa leñosa en diferentes tipos de bosque tropical y con diferentes grados de intervención con valores que fluctuaban entre 0,7 t/ha hasta más de 178 t/ha.

permanecen en el bosque o salen de él. En consideración de lo anterior, este depósito de carbono no será incluido como parte del análisis del factor de emisión puesto que se supone que los cambios en las existencias de los depósitos de carbono de la materia orgánica muerta son nulos (IPCC, 2006).

b) Para el carbono orgánico del suelo (COS) se asume por defecto que no se modifica por la gestión y, por lo tanto, los cambios en las existencias son equivalentes a cero (IPCC, 2006). En virtud de esto, se excluye este depósito del análisis del factor de emisión por degradación forestal.

Según estas consideraciones los compartimentos que serán considerados para la estimación de emisiones por degradación corresponden a Biomasa Aérea y Biomasa Subterránea.

Basados en los resultados del inventario nacional forestal se estimaron los contenidos de carbono en bosques para cada uno de los compartimentos: la estimación de los factores de emisión fue basada en el artículo de Birigazzi, Gamarra & Gregoire (2017)<sup>17</sup>. En este documento se muestra como de datos de inventarios que vienen de pequeñas áreas o parcelas se pueden estimar factores de emisión a nivel nacional o regional con dominios diferentes e independientes al diseño de muestreo. Se usaron estimadores insesgados con nuevos estratos (bosque borde y bosque núcleo) que son espacialmente explícitos y que se desempeñan mejor que los tradicionales tanto en sesgo como en la precisión (ver recuadro 4).

El IFN de Colombia es basado en un diseño probabilístico, aleatorio simple, post-estratificado y de conglomerado de áreas, e incluye toda la superficie continental e insular como universo de estudio. Es de resaltar que los datos de subpoblaciones del IFN difieren los datos de subpoblaciones que se quieren analizar para estimar los factores de emisión: Estas nuevas subpoblaciones o dominios de interés son espacialmente explícitas y divididas en dos, el primer dominio de interés son las regiones naturales (Amazonía, Orinoquía, Andes, Caribe y Pacífico) y la segunda son los tipos de bosque del análisis morfológico (Bosque borde y Bosque Núcleo). En el caso de Colombia, los dominios son espacialmente explícitos e independientes del diseño de muestreo del IFN. Por esta razón, se implementó la propuesta estadística propuesta por *Birigazzi et al. (2017)* con estimadores insesgados para estimar los contenidos de carbono en nuestros dominios de interés y en donde los factores de emisión son los promedios de contenidos de carbono de cada uno de los compartimentos. Con esta metodología, la proporción del número de conglomerados del INF para cada región natural el total de conglomerados del INF es relacionada con la proporción de área de bosque y de área en bosque borde y bosque núcleo en la extensión de cada región natural.

---

<sup>17</sup> *Unbiased emission factor estimators for large-area forest inventories: domain assessment techniques*. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10651-018-0397-3>

**Recuadro 4. Estimación Emisiones a nivel nacional para cada estrato de bosque y para cada compartimiento**

En síntesis, los estimadores insesgados que se usaron para calcular los factores de emisión fueron los siguientes: un estimador para la media del dominio (del grupo anidado NG)

$$\bar{y}_d^{NG} = \sum_{h=1}^H W_{hd} \tilde{y}_{shd} = \frac{1}{N_d} \sum_{h=1}^H N_{hd} \tilde{y}_{shd}$$

Donde  $N_{hd}$  es la población del estrato del dominio, y es el peso de cada estrato dentro del dominio, siendo la media muestral ponderada por cada intersección de la probabilidad de inclusión:

$$\tilde{y}_{shd} = \frac{\sum_{k \in S_{hd}} \frac{y_k}{\pi_k}}{\hat{N}_{hd}}$$

Con  $\hat{N}_{hd} = \sum_{k \in S_{hd}} \pi_k^{-1}$ . Esta ecuación es un caso especial de estimadores de dominio post-estratificados para diseños de muestreos estratificados, en donde cada uno de los estratos son usados como post-estratos.

Así mismo, para el caso de estimador de la varianza del estimador se aplicó la siguiente ecuación de post-estratificación:

$$V[\bar{y}_d^{NG}] = N * \left( \frac{1}{n} - \frac{1}{N} \right) \sum_{h=1}^H N_{hd} S_{y,hd}^2 + \frac{N^2}{n^2} * \sum_{h=1}^H \left( 1 - \frac{N_{hd}}{N} \right) S_{y,hd}^2$$

Donde  $S_{y,hd}^2 = \frac{\sum_{k \in S_{hd}} (y_k - \tilde{y}_{shd})^2}{n-1}$  es la varianza del dominio muestral

Con estos datos espacilamente explícitos para cada región natural, se calculan estimadores insesgados del promedio de contenidos de carbono para cada uno de los estratos de bosque y para cada compartimiento.

Para estimar los factores de emisión se emplearon los datos del IFN. Estos datos, consistentes en conglomerados, fueron intersectados con las capas de degradación tomando en cuenta las coordenadas de la sub-parcela central de cada conglomerado categorizado en campo como Bosque. Esto, con el objetivo de identificar cuántos de ellos corresponden con la clase Bosque Núcleo y cuantos con la clase Bosque Borde. Adicionalmente, se efectuó una revisión complementaria de los conglomerados junto con el grupo de profesionales del IFN orientada a identificar inconsistencias. De esta forma todos los conglomerados que, con base en los datos de campo, estaban catalogados inicialmente como bosque contaron con una post-estratificación correspondiente ya sea a Bosque Borde o Bosque Núcleo. Con esta información se calcularon, en primera instancia, los contenidos promedio de carbono para el Bosque Núcleo y el Bosque Borde (Tabla 16); y subsecuentemente, los factores de emisión tanto para deforestación como para degradación (Tabla 17). Dicho cálculo se realizó a nivel nacional aplicando las ecuaciones 20, 21, 22 y 23 descritas a continuación:

**Ecuación 20. Cálculo del factor de emisión por degradación**

**ECUACION**

$$\text{Factor Emisión Degradación (Cambio de Bosque Núcleo a Bosque Borde)} \\ = \text{Promedio Contenido Carbono Bosque Núcleo} - \text{Promedio Contenido Carbono Bosque Borde}$$

**Ecuación 21. Cálculo del factor de emisión por deforestación en Bosque Borde**

**ECUACION**

$$\text{Factor Emisión Deforestación Bosque Borde} = \text{Contenido Carbono Bosque Borde} - 0$$

**Ecuación 22. Cálculo del factor de emisión por deforestación en Bosque Núcleo**

**ECUACION**

$$\text{Factor Emisión Deforestación Bosque Núcleo} = \text{Contenido Carbono Bosque Núcleo} - 0$$

Una vez se contó con los datos de actividad (área de cambio por año para cada compartimento) y los factores de emisión (carbono promedio en bosque núcleo y carbono promedio en bosque de borde), se efectuó el cálculo de las emisiones empleando la siguiente ecuación:

**Ecuación 23. Cálculo de emisiones**

**ECUACION**

$$\text{Emisiones (CO}_2 \text{ eq)} = \text{Área de Cambio} * \text{Factor de Emisión} * 0,47 * 44/12$$

La tabla 17 contiene los valores de biomasa promedio para las categorías de Bosque Borde y Bosque Núcleo los cuales, como se ha indicado anteriormente, son la base para la determinación de los factores de emisión. Dichos valores se presentan para los compartimentos de Biomasa Aérea (BA), Biomasa Subterránea (BS), Carbono Orgánico del Suelo (COS), Detritos Finos de madera (DFM), Detritos Finos de madera (DGM) y Árboles Muertos en Pie (MP) y Tocones Muertos (TM).

**Tabla 17. Contenidos promedio biomasa por compartimento**

	BA	BS	COS	DFM	DGM	MPyTM
Categoría	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	C (t ha <sup>-1</sup> )	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )
Bosque Borde	106,99	25,07	69,51	2,46	1,54	3,33
Bosque Núcleo	252,50	56,29	56,30	4,94	6,06	8,79

Aplicando las ecuaciones 20 a 22, se determinaron los factores de emisión asociadas a los diferentes cambios presentados en las áreas tanto de Bosque Núcleo como de Bosque Borde, esto para la totalidad del periodo de análisis. La Tabla 18 resume la estimación del factor de emisión del bosque natural, incluyendo los sumideros de BA y BS para degradación y BA, BS, COS, DGM, DFM Y TP, expresados en t CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 18. Factores de emisión para degradación y deforestación para BA, BS, COS, DFM, DGM y MPyTM**

Compartimento	Degradación		Deforestación borde		Deforestación núcleo	
	CBF (tC ha <sup>-1</sup> )	CBF eq (tCO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> )	CBF (tC ha <sup>-1</sup> )	CBF eq (tCO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> )	CBF (tC ha <sup>-1</sup> )	CBF eq (tCO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> )
BA	68,4	250,8	50,29	184,38	118,68	435,15
BS	14,7	53,8	11,78	43,21	26,45	97,00
COS <sup>18</sup>	N.A	N.A	69,51	254,88	56,30	206,42
DFM	N.A	N.A	1,16	4,24	2,32	8,52
DGM	N.A	N.A	0,72	2,65	2,85	10,44
MP y TM	N.A	N.A	1,57	5,75	4,13	15,16

N.A: No aplica para el cálculo

## 8.6 Circunstancias nacionales

### 8.6.1 Principales causas directas de la deforestación en el período de 2013-2022

Durante el período 2013-2022, la deforestación en Colombia fue causada principalmente por las siguientes causas directas o motores:

#### a. Expansión de la frontera agropecuaria

Con mayor relevancia de la conversión de bosques naturales a pastos, dinamizada por incendios forestales y con fines de acaparamiento de tierras; causa presente en todo el territorio nacional, aunque con mayor importancia en la región Amazonia. Durante el período 2013-2022, las actividades de ganadería extensiva continuaron creciendo sobre el bosque a partir de áreas previamente transformadas.

Adicionalmente, se incluye dentro de esta categoría la conversión de bosques naturales a cultivos de uso ilícito (principalmente coca), donde las áreas afectadas por esta actividad ilegal presentaron una tendencia general al incremento durante el período. Finalmente, en algunas zonas del país se identificó la consolidación de cultivos agroindustriales en áreas no permitidas.

#### b. Expansión de la infraestructura de transporte

<sup>18</sup> Para fines de la estimación de las emisiones por pérdidas de carbono en el suelo por deforestación, el valor de COS, corresponde al promedio del COS a nivel nacional en los conglomerados evaluados, de acuerdo a lo expuesto en el numeral 8.5.4.2, sin tener en cuenta la desagregación a nivel de estrato (bosque núcleo, bosque borde). Este valor corresponde a 60,05 tC/ha.

Especialmente la relacionada con la construcción, consolidación y mejoramiento no planificado de la accesibilidad vial en las áreas rurales, que dinamizó la expansión de otras causas sobre las áreas de bosque durante todo el período; presente en todo el territorio nacional, aunque con mayor importancia en la región Amazonia.

**c. Extracción de minerales (principalmente ilícita)**

Con especial relevancia del impacto por extracción de oro de aluvión en áreas consolidadas de las regiones Pacífico y Andes (departamentos de Chocó, Antioquia y Sur de Bolívar).

**d. Extracción de madera (principalmente tala ilegal)**

Actividad que persiste durante el período en las zonas rurales de todo el país, con fines de autoconsumo (combustible, material de construcción, uso en la actividad agropecuaria y minera) o de comercio en diferentes escalas.

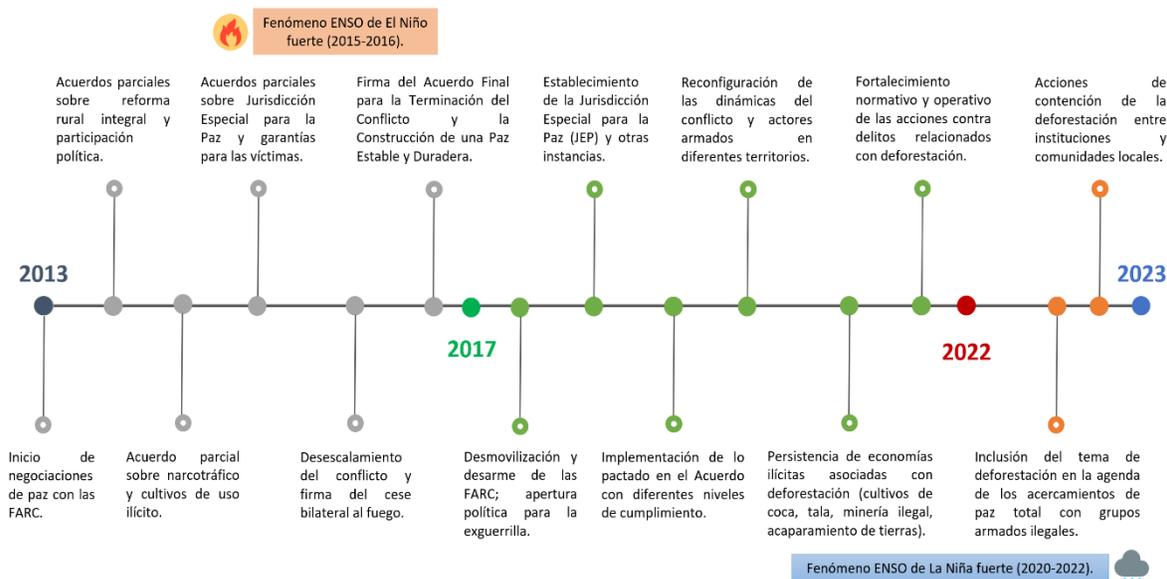
**8.6.2 Factores ambientales y sociopolíticos relevantes para el análisis de circunstancias nacionales para la actividad de deforestación**

La Decisión 12 / CP.17 de la CMNUCC invita a las partes a incluir detalles sobre cómo se han considerado las circunstancias nacionales en el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF). En el marco de esta disposición, Colombia considera que además del análisis histórico de la deforestación acumulada de al menos los últimos diez años, a nivel nacional y regional, es necesario ponderar el importante efecto que eventos sociopolíticos y climáticos recientes han tenido y pueden llegar a tener durante los siguientes años en la dinámica de transformación de los bosques. La síntesis de estos hitos para el período de referencia (2013-2022) se presenta en la Figura 19.

Con base en lo anterior, se identificaron dos períodos clave como referencia para el ajuste por circunstancias nacionales del promedio histórico de las emisiones por deforestación de Colombia para el período 2023-2027. El primero, entre 2013 y 2016, corresponde al proceso de negociación del acuerdo de paz con las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC-EP) y a la ocurrencia en el país del fenómeno climático de El Niño (clasificado de nivel fuerte entre mayo de 2015 y abril de 2016) y su influencia sobre la reducción de las lluvias y el incremento de eventos asociados a incendios (IDEAM, 2016).

De acuerdo con IDEAM (2016) en un escenario de El Niño nivel fuerte, el incremento de las temperaturas máximas y la prolongación de los períodos de sequía aumenta la probabilidad de presentación de anomalías térmicas que derivan en incendios forestales; siendo particularmente crítico en Colombia (con especial referencia a las regiones Orinoquia y Amazonia) el uso de las quemadas como elemento de transformación del bosque y de cambio de uso de la tierra hacia actividades agropecuarias (Armenteras et al. 2020; González et al. 2018).

**Figura 19. Línea de tiempo de los eventos sociopolíticos y climáticos relevantes en Colombia durante período 2013-2022**



Los incendios forestales corresponden a cualquier tipo de conflagración que utilice como combustible la vegetación natural (White, 2018) y que intervienen en procesos como la deforestación, la praderización, la fragmentación, la degradación, entre otros (Monroy *et al.*, 2019). Aun cuando las condiciones naturales de humedad y precipitación de los ecosistemas tropicales previenen la ocurrencia de incendios de manera espontánea, es claro que en la última década se ha incrementado considerablemente la cantidad de estos eventos, evidenciando una fuerte influencia de factores como los regímenes de precipitación, la temperatura, la pendiente y los usos de la tierra (Da Silva *et al.*, 2018; White, 2018; Pourtaghi *et al.*, 2015; Ljudomir *et al.*, 2019; Armenteras y Retana 2012). En el caso de Colombia se ha identificado la relación entre los incendios y el proceso de transformación de bosques a pastos (deforestación) como manera de limpieza y preparación del suelo para prácticas agropecuarias, que se realiza durante los períodos más secos del año (Armenteras y Retana 2012; Armenteras *et al.*, 2020).

Durante este período, la interpretación de la información disponible acerca de los acuerdos parciales entre gobierno y FARC, la magnitud de la inversión estatal y privada durante el proceso de paz, la aplicación de políticas o medidas durante la negociación (restitución de tierras, construcción de carreteras, entre otros), los acuerdos unilaterales y bilaterales de cese del fuego, la suspensión de la fumigación aérea de cultivos ilícitos, la demanda activa de cocaína, la consolidación de nuevas economías criminales, entre otros, afectaron las expectativas de las partes interesadas y desempeñaron un papel clave en la intervención de los bosques (González *et al.*, 2018). De acuerdo con los datos del SMByC de Colombia (IDEAM 2023a), al final del período (año 2016) la deforestación anual

fue de 177 mil hectáreas aproximadamente, que correspondió a un incremento del 43,5% con respecto al año anterior y del 53,1% con respecto al inicio del período (año 2013).

El segundo período clave, entre 2017 y 2021, corresponde a la etapa del proceso de paz denominada como posconflicto o posacuerdo, una vez firmado el acuerdo de paz con las FARC a finales de 2016; durante este período también se presentó el fenómeno climático de La Niña (clasificado de nivel fuerte entre junio de 2020 y diciembre de 2022) caracterizado por el incremento y persistencia de la precipitación, y la reducción de eventos asociados a incendios (IDEAM, 2023b). Entre 2016 y 2017 la deforestación en el país aumentó el 23,5% y alcanzó un pico de deforestación de 219 mil hectáreas por año durante 2017; en el quinquenio 2017-2021 el promedio de deforestación anual fue de 184 mil hectáreas, con un total deforestado de 921 mil hectáreas de bosque, área que equivale al 29% de la deforestación total acumulada en la serie histórica 2001-2021 (IDEAM, 2023a). Estos resultados se vieron altamente influenciados por las acciones de actores ilegales que, bajo las nuevas condiciones de accesibilidad al territorio, han promovido procesos masivos de acaparamiento de tierras, extracción ilícita de minerales y la expansión de la frontera agropecuaria a través del cultivo de coca (González *et al.*, 2018).

Aunque posterior a la etapa de incremento de la deforestación en el posacuerdo se proyectaba una estabilización de las condiciones del conflicto y sus efectos sobre los bosques (Suárez *et al.*, 2018; Negret *et al.*, 2017), la reconfiguración de actores armados ilegales e intereses sobre el uso del territorio, así como el nivel de avance en la implementación de lo pactado en el acuerdo con las FARC (Fundación Paz & Reconciliación, 2022; FIP, 2020a), han llevado a que la fase de estabilización no se haya alcanzado en la mayor parte de los territorios del país donde se encuentran los bosques naturales. Esto fue ratificado por los expertos de LULUCF (*Land Use, Land-Use Change and Forestry*) en el reporte de análisis del anexo técnico del Segundo Reporte Bial de Actualización de Colombia, quienes coincidieron en que los efectos en la dinámica de deforestación comenzaron con el inicio de las negociaciones de paz en 2013 y que las tasas de deforestación recientes aún no muestran un cambio consolidado hacia una tendencia decreciente o de estabilización. Por lo tanto, consideraron que los datos proporcionados por Colombia indican que el período de transición, después del cual habrá una disminución o estabilización de la tasa de deforestación, probablemente sea más largo de lo inicialmente esperado (IDEAM *et al.*, 2018).

Para el año 2021, la presencia territorial (a escala municipal) de estructuras armadas ilegales coincidió con varias de las áreas definidas como Núcleos de Alta Deforestación en Colombia desde el año 2017 (IDEAM, 2022). La FIP (2020b) identificó dentro de las zonas con mayor intensidad del conflicto en el año 2020 al Pacífico nariñense; el sur del Valle y el norte del Cauca; el centro y la costa Pacífica en el Cauca; el departamento de Putumayo; el corredor que va desde el Urabá antioqueño, pasando por el sur de Córdoba, el Bajo Cauca y el sur de Bolívar y llegando hasta el Catatumbo, en Norte de Santander; y el norte del Chocó; todas ellas con elevados índices de deforestación. Esto indica que la presencia de grandes masas boscosas continúa siendo un factor relevante para las dinámicas del conflicto armado en el país (Fundación Paz & Reconciliación, 2022). No

obstante, la visión de estos nuevos actores armados sobre el bosque se ha tornado más diversa; el recurso ahora no solo es un medio de protección y movilidad, sino además un objeto claro de apropiación, transformación y generación de rentas para la permanencia del conflicto en la mayor parte de las zonas rurales, incluso en áreas de especial importancia ecológica (Clerici *et al.*, 2020).

Las actividades que promueven el conflicto armado también se han diversificado; los intereses actuales de la economía del conflicto se mantienen en los cultivos de uso ilícito y en la producción y comercio de cocaína (Negret *et al.*, 2019), pero se han ampliado hacia la extracción ilícita de minerales, la tala y comercio ilegal de madera, y la ocupación y acaparamiento de tierras (Fundación Paz & Reconciliación 2022; López, 2022; FIP 2020b), siendo estas causas relevantes de la deforestación en el país durante el período posterior a la firma del acuerdo de paz con las FARC (IDEAM, 2022; Prem *et al.*, 2019).

En este contexto, el gobierno de Colombia (2022-2026) ha propuesto una ambiciosa estrategia de negociación y sometimiento de múltiples y diversos grupos armados ilegales denominada “Paz Total”, como instrumento para superar la violencia en el país (Niño, 2022). La Ley de Paz Total (Ley 2272 de 2022) extiende la noción de paz, tradicionalmente vinculada a actores armados con estatus político, al sometimiento de los grupos del crimen organizado. Con este objetivo, se establecen dos tipos de procesos diferenciados. El primero corresponde a los procesos tradicionales que se llevarán a cabo con los grupos armados organizados al margen de la ley para llegar a acuerdos de paz. El segundo implica los acercamientos con estructuras armadas de crimen de alto impacto para que se sometan a la justicia; estos procesos incluyen a grupos que no son de naturaleza política y que pueden estar asociados a economías ilegales como el narcotráfico o la minería ilegal (Reynoso, 2022). Al ser una política pública de formulación reciente y dadas las características actuales de momento y estado de las negociaciones con cada actor involucrado, en el marco del análisis de las circunstancias nacionales se presenta un escenario esperado de incertidumbre que demanda una aproximación conservadora y basada hasta donde sea posible en los referentes históricos disponibles.

### **8.6.3 Supuestos y aproximación modelada al cálculo del ajuste por circunstancias nacionales para la actividad de deforestación**

En análisis de circunstancias nacionales para el NREF 2023-2027 parte del supuesto que la deforestación en Colombia, durante al menos los próximos cinco años, se verá influenciada por tres factores sociopolíticos y climáticos principales: i) las negociaciones de paz multi-actor que adelanta el actual gobierno nacional, ii) la implementación del acuerdo de paz firmado con las FARC, y iii) el fenómeno de El Niño fuerte por el que empieza a atravesar el país (IDEAM, 2023b). En línea con este supuesto, se empleó como referencia para el análisis de circunstancias nacionales la información de deforestación disponible para los últimos 10 años (2013-2022); esta aproximación busca emplear como referentes históricos para la proyección de las circunstancias nacionales los efectos sobre la cobertura de bosque causados por: i) el último Fenómeno de El Niño (2015-2016) y su relación con El Niño fuerte que atraviesa actualmente el país, ii) las negociaciones del Acuerdo de Paz con las FARC (2013-2016) y su relación con el actual proceso de

negociación de paz multi-actor que adelanta el gobierno nacional; y iii) el impacto en la deforestación de las dinámicas territoriales más recientes, incluyendo el del posacuerdo de paz con las FARC.

Teniendo en cuenta lo anterior, para calcular el ajuste se utilizó un conjunto de modelos logísticos regionales que una vez agregados permitieron proyectar la deforestación nacional durante el período 2023-2027<sup>19</sup>. La diferencia aritmética entre la deforestación modelada y la deforestación proyectada utilizando el promedio histórico 2013-2022, se utilizó para estimar el ajuste anual por las circunstancias nacionales para la actividad de deforestación. La modelación emplea un enfoque conservador basado en supuestos que tienen soporte en la realidad histórica y presente de Colombia, siguiendo un proceso completamente documentado para garantizar su transparencia y replicabilidad.

#### 8.6.4 Modelo logístico

El comportamiento futuro de la deforestación se proyectó para cada uno de las cinco regiones del país, utilizando un modelo de crecimiento logístico en el que se argumenta que, la expansión de la deforestación sobre el bosque remanente puede ocurrir exponencialmente si las condiciones que determinan el crecimiento no se ven afectadas por situaciones exógenas. Sin embargo, también establece que existen condiciones que no permiten que este crecimiento ocurra indefinidamente, lo que significa que hay un límite para la pérdida de bosques. La ecuación general para el modelo logístico se define conforme la Ecuación 24:

**Ecuación 24. Modelo logístico de crecimiento**

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$N_t = k_1 + \left( \frac{k_2}{1 + e^{(a+bt)}} \right)$	Modelo logístico de crecimiento utilizado para proyectar la deforestación	Poveda y Manrique, 2007
<p><b>Parámetros y descriptores:</b>  <math>k_1</math> = bosque mínimo consumible (ha)  <math>k_2</math> = bosque máximo consumible (ha)  <math>N_t</math> = deforestación proyectada en el tiempo t  t = período de proyección  b = tasa de cambio entre periodos  a = constante</p>		

Dado que la variable a modelar es el área a deforestar, se podría argumentar que en realidad siempre hay un valor mínimo de pérdida de cobertura forestal. Sin embargo, se eligió un enfoque más conservador donde se permite un valor de deforestación cero. Teniendo en cuenta este nuevo supuesto, la ecuación se modifica de la siguiente manera:

<sup>19</sup> Corresponde al Anexo C de este documento denominado “Estimación del ajuste por circunstancias nacionales para nivel de referencia de emisiones forestales 2023-2027”

**Ecuación 25. Modelo logístico de crecimiento modificado**

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$N_t = \left( \frac{K}{1 + e^{(a+bt)}} \right)$	Modelo logístico de crecimiento utilizado para proyectar la deforestación	Poveda y Manrique, 2007
<p><b>Parámetros y descriptores:</b>            K = área de bosque susceptible de deforestación (ha)            N<sub>t</sub> = deforestación proyectada en el tiempo t            t = período de proyección            b = tasa de cambio entre periodos            a = constante</p>		

Se requieren dos parámetros básicos para el modelo: la tasa de crecimiento (b) y el área de bosque susceptible a la deforestación (K), que corresponde al área máxima de crecimiento de la deforestación.

*8.6.4.1 Estimación de la tasa de crecimiento (b)*

Para evaluar el crecimiento de la deforestación, el modelo incorpora la deforestación acumulada de las series históricas 2000-2022 disponibles para cada región geográfica. También utiliza la tasa de cambio observada entre 2013-2022 (b) para representar adecuadamente la velocidad de los cambios en las tendencias de deforestación, causadas principalmente por el actual proceso de negociación multi-actor denominado “Paz Total”, el posacuerdo entre el Estado colombiano y las FARC y los efectos del Fenómeno de El Niño. Las tasas de crecimiento estimadas para cada región se presentan en la Tabla 19.

**Tabla 19. Tasa de crecimiento de la deforestación (b) estimada por bioma**

Bioma	Tasa de crecimiento de deforestación estimada
Amazonia	-0,09
Pacífico	-0,11
Andes	-0,08
Caribe	-0,07
Orinoquía	-0,06

*8.6.4.2 Estimación del área de bosque susceptible a la deforestación (K)*

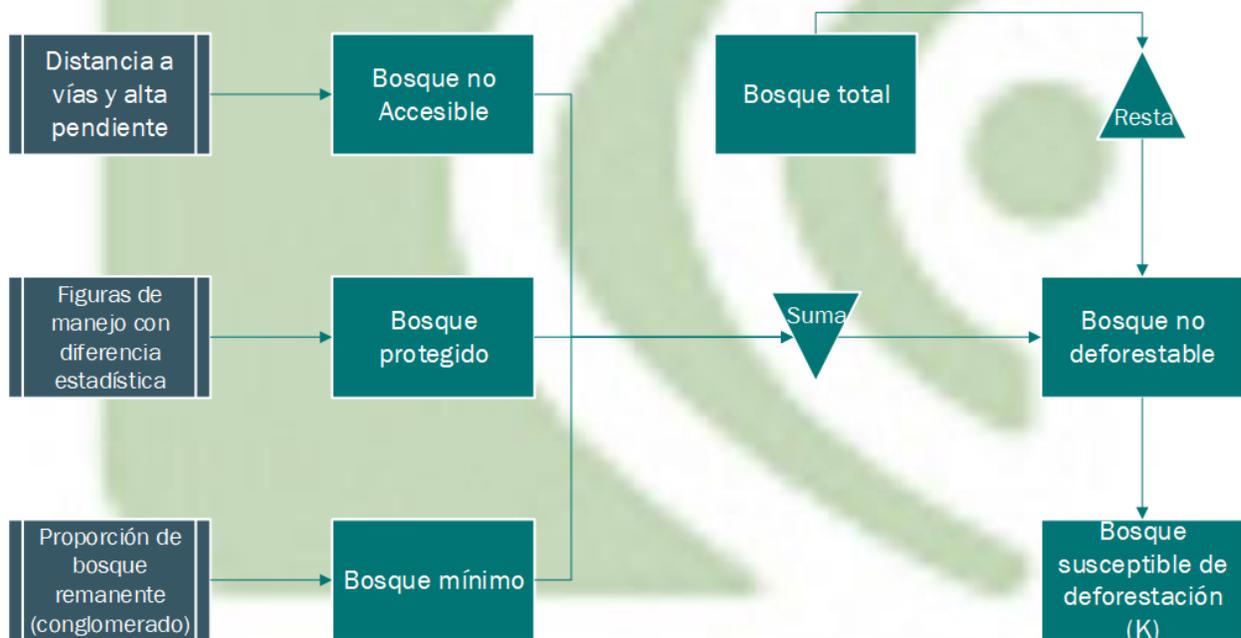
El modelo incorpora el efecto de accesibilidad forestal descrito en la sección anterior a través del parámetro K. El área de “bosque susceptible a la deforestación” (K) se calculó restando el área denominada “bosque no deforestable” del área total de bosque disponible (susceptible de ser deforestado) en el año 2022 (Figura 20).

El bosque no deforestable se estimó utilizando tres variables: i) bosque protegido, ii) bosque no accesible y iii) área de bosque mínimo. La categoría de **bosque protegido** incluye áreas de bosque ubicadas dentro de zonas con disposiciones sobre el uso del suelo específicas o figuras de manejo especial para su protección por la Unidad

Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales de Colombia (Parques Nacionales Naturales, Santuarios de flora y fauna, área natural única), resguardos indígenas, territorios colectivos de comunidades afrodescendientes y reservas forestales nacionales, donde la conservación del bosque natural se evaluó estadísticamente a partir de la comparación del promedio de deforestación entre las áreas mencionadas y áreas sin figuras de protección. Las áreas que no mostraron diferencias significativas a nivel regional con relación a las áreas no protegidas no fueron tenidas en cuenta dentro de la categoría de bosque protegido.

La categoría de **bosque no accesible** corresponde a las áreas forestales restantes ubicadas en pendientes fuertes o en zonas distantes de las carreteras. Finalmente, la categoría de área de **bosque mínimo** se agregó como una medida conservadora para tener en cuenta la proporción de bosque (diferente de las dos categorías anteriores) que, debido a diferentes factores, generalmente permanece en cualquier municipio, incluso después de que el mismo haya estado expuesto a altas tasas de deforestación.

Figura 20. Estimación del bosque susceptible de deforestación (K)



Los valores estimados de K para cada región se presentan en la Tabla 20.

**Tabla 20. Área de bosque susceptible a ser deforestado (K) estimada por región (ha)**

BIOMA	K (ha)
Amazonía	2.939.860,2
Andes	2.035.871,6
Caribe	706.664,6
Orinoquia	1.791.595,1
Pacífico	1.687.159,1

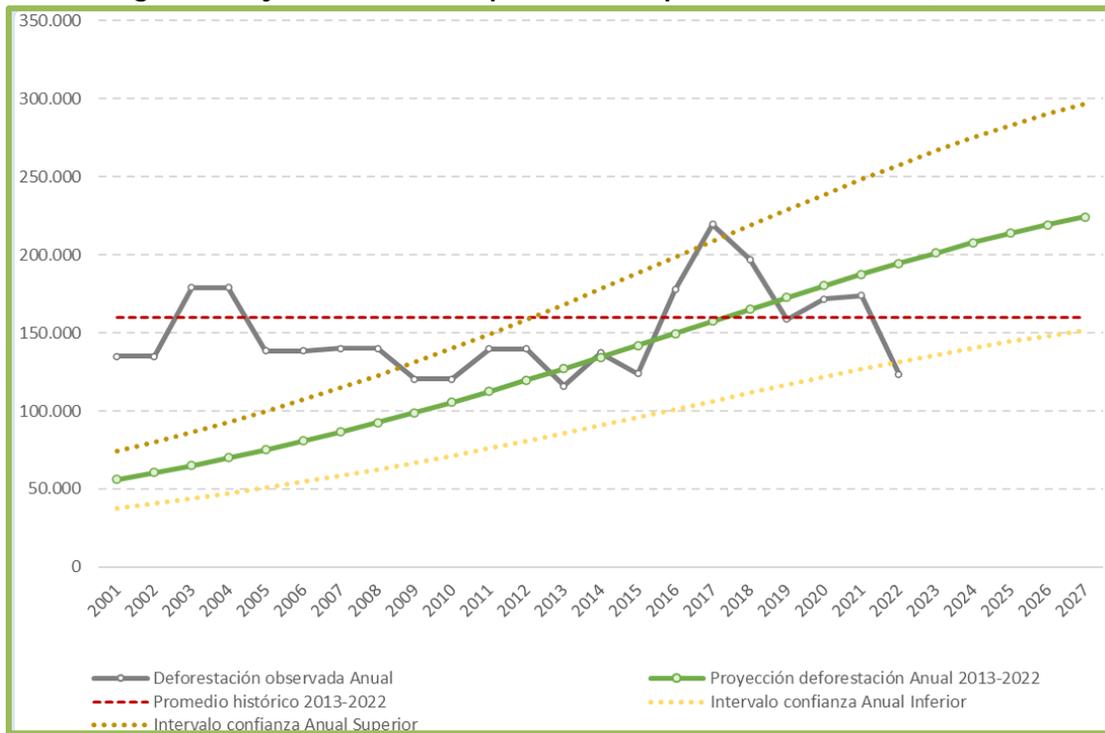
#### 8.6.4.3 Proyección nacional de pérdida de bosque natural 2023 - 2027

Las proyecciones por región se agregaron para obtener una proyección de la deforestación nacional para el período 2023-2027 (Tabla 21, Figura 21). La diferencia aritmética entre la deforestación proyectada usando la modelación y la deforestación proyectada utilizando el promedio histórico 2013-2022, se empleó para estimar el porcentaje de ajuste anual por las circunstancias nacionales.

**Tabla 21. Proyección de la deforestación nacional para el ajuste por circunstancias nacionales de la actividad de deforestación. Período 2023-2027.**

Año	Proyección anual deforestación (ha)	Promedio deforestación (ha) 2013-2022	Intervalo confianza Anual (ha)	
			Inferior	Superior
2023	200.567,3	159.961,6	135.799,9	265.334,6
2024	206.694,3	159.961,6	139.948,4	273.440,2
2025	212.369,0	159.961,6	143.790,6	280.947,3
2026	217.541,2	159.961,6	147.292,6	287.789,7
2027	222.166,1	159.961,6	150.424,0	293.908,1

Figura 21. Proyección nacional de pérdida de bosque natural. Período 2023-2027.



#### 8.6.4.4 Estimación del error

Cualquier proyección tiene asociado un nivel de incertidumbre, dado que a su vez este se convierte en un pronóstico de un fenómeno a partir de unas características observadas. Por tanto, se hace necesario establecer en qué medida el modelo utilizado, en este caso la función logística, podría ofrecer proyecciones precisas y confiables.

Para medir la incertidumbre o error del modelo, se utilizaron análisis cuantitativos a través del error de porcentaje medio absoluto (MAPE), los cuales permiten medir la dispersión de los datos observados frente a los proyectados para el periodo 2010-2022. El MAPE es calculado conforme la siguiente ecuación:

Ecuación 26. Cálculo del error de porcentaje medio absoluto (MAPE)

ECUACION	DESCRIPCION
$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n  A_t - F_t }{A_t \cdot n}$	Error del porcentaje medio absoluto
<b>Parámetros y descriptores:</b> A <sub>t</sub> = deforestación observada en el período t F <sub>t</sub> = deforestación proyectada en el período t n = total de periodos observados	

El porcentaje del error medio absoluto para la proyección, utilizando el período 2013-2022 fue del 16,5%.

### **8.6.5 Ajuste del NREF por circunstancias nacionales 2023-2027**

El NREF incorpora un ajuste por las circunstancias nacionales para la actividad de deforestación, estimadas utilizando el modelo logístico desarrollado para cada uno de las cinco regiones, los cuales fueron agregados para dar un resultado nacional. Colombia estimó un ajuste anual diferencial sobre el valor de las emisiones promedio del período de referencia 2013-2022. La Tabla 22 presenta el ajuste anual para el período 2023-2027.

**Tabla 22. Proyección de la deforestación nacional para el ajuste por circunstancias nacionales de la actividad de deforestación. Período 2023-2027.**

Año	Promedio deforestación 2013-2022 (ha)	Ajuste circunstancias nacionales (ha)	Deforestación Total proyectada (promedio histórico + circunstancias nacionales) (ha)	Ajuste (%)
2023	159.961,6	40.605,7	200.567,3	25,4
2024	159.961,6	46.732,7	206.694,3	29,2
2025	159.961,6	52.407,3	212.369,0	32,8
2026	159.961,6	57.579,5	217.541,2	36,0
2027	159.961,6	62.204,4	222.166,1	38,9

## **8.7 Construcción del nivel de referencia de emisiones forestales**

El proceso de construcción del nivel de referencia de emisiones forestales implica definir de manera separada la línea base de emisiones para cada actividad REDD+ considerada dentro del presente ejercicio como se indica a continuación:

### **8.7.1 Línea base de emisiones por deforestación**

Para establecer las emisiones anuales nacionales se debe considerar la post-estratificación realizada a los ecosistemas forestales nacionales que sirvió de base para el análisis de degradación y que divide el bosque en dos estratos adicionales: *bosque núcleo* (intacto) y *bosque borde* (degradado). Para cada uno de estos estratos se definieron datos de actividad para el periodo 2013 – 2022 tal como se indica en la Tabla 23.

Con base en lo anterior, los valores de deforestación promedio ocurrida en *bosques núcleo* y *bosques borde* para el periodo de referencia fueron de 46.031 y 113.930 hectáreas por año respectivamente que, en conjunto, comprenden la cifra promedio de deforestación nacional (159.962 ha) para dicho periodo.

**Tabla 23. Datos de actividad por deforestación para el periodo de referencia**

AÑO	Deforestación Bosque Borde (ha)	Deforestación Bosque Núcleo (ha)
2013	93.472	22.655
2014	108.701	28.611
2015	97.283	26.551
2016	132.868	44.870
2017	151.987	67.501
2018	131.759	65.346
2019	108.429	50.411
2020	113.511	58.141
2021	114.861	59.207
2022	86.433	37.020

Como fue previamente explicado, el periodo de referencia del NREF (2013 – 2022) considera dos datos de actividad para deforestación y, por lo tanto, su propio factor de emisión.

Tomando en cuenta lo anterior, las emisiones nacionales por deforestación ( $EA_{def,t}$ ) para el periodo de referencia, considera la suma de la superficie deforestada del estrato de *bosque núcleo* ( $CSB_{bn}$ ) por su correspondiente factor de emisión ( $FE_{def,bn}$ ) con la superficie deforestada del estrato de *bosque borde* ( $CSB_{bb}$ ) por su correspondiente factor de emisión ( $FE_{def,bb}$ ), a lo cual se añade la sumatoria de la tasa de pérdida a 20 años del contenido del carbono orgánico del suelo a nivel nacional<sup>20</sup>, tal como se plantea en la ecuación 27.

<sup>20</sup> Ver explicación de la estimación de emisiones por los cambios en los contenidos de carbono en el suelo debido a la deforestación en el Recuadro 5.

### Recuadro 5. Estimación de emisiones por los cambios en los contenidos de carbono en el suelo debido a la deforestación

Al igual que en las estimaciones de biomasa, se emplea un enfoque de emisiones brutas, donde no se tiene en cuenta el uso final del suelo debido a la falta de información del uso después del cambio para la serie de tiempo del periodo de referencia (2013-2022), asumiendo que después del proceso de deforestación se da una pérdida total del carbono acumulado en el suelo, la cual no es inmediata, sino que se da en un periodo de 20 años, lapso por defecto para la transición entre los valores de equilibrio del carbono orgánico del suelo (COS).

Adicionalmente, se contemplan emisiones rezagadas por la pérdida anual del COS en años previos al periodo de referencia, específicamente las emisiones que se vienen reportando por la pérdida del COS desde el año 2001, que es el año a partir del cual el SMBYC presenta información robusta, esto, con el fin de evitar la subestimación de emisiones que realmente se están generando en el periodo de referencia.

A continuación, se presenta la información contemplada para la estimación de emisiones por el cambio en los contenidos de carbono en el suelo en áreas deforestadas:

*Datos de actividad:* Áreas de cambio de bosque para el periodo 2001-2022 a nivel nacional (presentados en la Tabla 4) sin tener en cuenta la estratificación a nivel de bosque núcleo y bosque borde, ya que solo se cuenta con esta desagregación para el periodo de referencia del NREF (2013-2022).

*Factores de emisión:* Los cambios en las existencias del COS debido a la deforestación se estiman a partir de la aplicación de la ecuación 2.25 de las Directrices del IPCC de 2006 (volumen 4, capítulo 2).

$$\Delta C_{\text{Minerales}} = ((COS_0 - COS_{(0-r)})/D)$$

Dónde:

$\Delta C_{\text{Minerales}}$  = Cambio anual en las existencias de carbono de los suelos minerales, t.C. año<sup>-1</sup>

$COS_0$  = Existencia de carbono orgánico en suelos en el último año de un periodo en el inventario. t.C

$COS_{0-T}$  = Existencia de carbono orgánico en suelos al comienzo de un periodo en el inventario. t.C

D = Cantidad de tiempo de un periodo dado

De esta forma, se asume que el  $COS_0$  es cero, dado que no se cuenta con la información del uso después del proceso de deforestación.

El  $COS_{0-T}$ , corresponde al promedio del COS a nivel nacional, sin tener en cuenta la desagregación a nivel de estrato (bosque núcleo, bosque borde) en los conglomerados evaluados por el SMBYC, de acuerdo con lo expuesto en el numeral 8.5.4.2 del documento, este valor es de 60,058 t.C.ha.

Para la variable D, se utiliza un periodo de 20 años, lapso por defecto para la transición entre los valores de equilibrio del carbono orgánico del suelo (COS).

El resultado de la estimación del  $\Delta C_{\text{Minerales}}$ , multiplicado por el área deforestada de cada año, se reporta por un periodo de 20 años, iniciando desde el año 2001, que es el primer año de mejor información disponible de datos de áreas de cambio de bosque. Esto quiere decir, que las pérdidas del contenido de carbono en el suelo ocurridas por la deforestación reportada en el año 2001, se estarán reportando de manera anual hasta el año 2020, las del año 2002, hasta el año 2021, las del año 2003 hasta el año 2022 y así sucesivamente.

Las emisiones totales anuales por la pérdida del contenido de carbono en el suelo a causa de la deforestación serán la suma de las pérdidas anuales de las pérdidas acumuladas de todos los años.

### Ecuación 27. Emisiones anuales nacionales debidas a la deforestación

ECUACION	DESCRIPCION
$EA_{def,t} = [(CSB_{bn} * FE_{def,bn}) + (CSB_{bb} * FE_{def,bb})] + \sum_{y=2001}^n (CSB_t * COS_{20 \text{ años}})$	Emisiones anuales nacionales debidas a la deforestación
<p><b>Parámetros y descriptores:</b>            EA<sub>def,t</sub> = emisiones anuales nacionales debidas a la deforestación (tCO<sub>2</sub>eq).            CSB<sub>bn</sub> = deforestación anual correspondiente al estrato de bosque núcleo (ha)            CSB<sub>bb</sub> = deforestación anual correspondiente al estrato de bosque borde (ha)            CSB<sub>t</sub> = deforestación anual total (deforestación anual en bosque núcleo + deforestación anual en bosque borde) (ha)            FE<sub>def,bn</sub> = factor de emisión por deforestación correspondiente al tipo de bosque núcleo (tCO<sub>2</sub>eq. ha<sup>-1</sup>). Corresponde a la suma de los factores de emisión calculados individualmente para los depositos de carbono de la biomasa aérea (BA), biomasa subterránea (BS) y detritos de madera (DFM, DGM y MPyTM) como se presenta en la Tabla 17.            FE<sub>def,bb</sub> = factor de emisión por deforestación correspondiente al tipo de bosque borde (tCO<sub>2</sub>eq. ha<sup>-1</sup>). Corresponde a la suma de los factores de emisión calculados individualmente para los depositos de carbono de la biomasa aérea (BA), biomasa subterránea (BS) y detritos de madera (DFM, DGM y MPyTM) como se presenta en la Tabla 17.            COS<sub>20 años</sub> = tasa de perdida a 20 años de la cifra agregada nacional del contenido de carbono orgánico del suelo (tCO<sub>2</sub>eq. ha<sup>-1</sup>)            bn = estrato correspondiente al bosque núcleo            bb = estrato correspondiente al bosque borde            y = año inicial en el que se consideran las emisiones de COS generadas por el evento de deforestación (comienza en 2001 para todos los años del periodo de referencia salvo 2022 que tiene como año de inicio 2002)            n = año de referencia para el cual se calculan las emisiones anuales.</p>	

#### 8.7.2 Línea base de emisiones por degradación forestal

Las emisiones anuales por degradación a nivel nacional (EA<sub>deg,t</sub>) se establecen a partir del cambio en la superficie de bosque degradada anualmente (CSB<sub>dg</sub>) para el periodo de referencia conforme se presenta en la Tabla 24 y multiplicado por el factor de emisión correspondiente (Tabla 18). La Ecuación 28 ilustra el procedimiento para adelantar dicho cálculo.

**Tabla 24. Datos de actividad por degradación forestal para el periodo de referencia**

Año	Degradación (ha)
2013	99.318
2014	114.729
2015	98.698
2016	151.999
2017	163.287
2018	163.854
2019	135.193
2020	165.164
2021	160.918
2022	121.069

**Ecuación 28. Emisiones anuales nacionales debidas a la degradación forestal**

ECUACION	DESCRIPCION
$EA_{deg,t} = CSBdg * FE_{deg}$	Emisiones anuales nacionales debidas a la degradación forestal
<p><b>Parámetros y descriptores:</b>            EA<sub>deg,t</sub>: emisiones anuales nacionales debidas a la degradación forestal (tCO<sub>2</sub>eq.).            CSBdg: cambio en la superficie de bosque degradada anualmente a nivel nacional (ha)            FE<sub>deg</sub>: factor de emisión por degradación forestal (tCO<sub>2</sub>eq. ha<sup>-1</sup>). Corresponde a la suma de los factores de emisión calculados individualmente para los depositos de carbono de la biomasa aérea (BA) y biomasa subterránea (BS) como se presenta en la Tabla 17.</p>	

### 8.7.3 Cálculo del NREF

El cálculo del nivel de referencia nacional de emisiones forestales se define en un procedimiento de cuatro pasos: estimación del promedio histórico de las emisiones por deforestación del periodo de referencia (2013 - 2022), estimación del promedio histórico por degradación forestal del período de referencia (2013 - 2022), ajustes por circunstancias nacionales a la tasa promedio de deforestación proyectada para el periodo de vigencia del NREF (2023 - 2027) y sumatoria de las emisiones proyectadas por deforestación y degradación forestal para el periodo de vigencia del NREF (2023 - 2027). Los resultados de cada uno de estos pasos, se detallan a continuación:

#### 8.7.3.1 Promedio histórico nacional de las emisiones por deforestación

Con base en la Ecuación 27 explicada previamente, las emisiones anuales por deforestación estimadas para el periodo de referencia 2013 - 2022, se presentan en la Tabla 25. De estas cifras, se infiere un promedio histórico de 81.196.907 tCO<sub>2</sub>eq. para el NREF.

**Tabla 25. Promedio histórico nacional de las emisiones por deforestación calculado a partir del periodo de referencia**

AÑO	BA (tCO <sub>2</sub> eq.)	BS (tCO <sub>2</sub> eq.)	COS (tCO <sub>2</sub> eq.)	DFM (tCO <sub>2</sub> eq.)	DGM (tCO <sub>2</sub> eq.)	MPyTM (tCO <sub>2</sub> eq.)	TOTAL (tCO <sub>2</sub> eq.)
2013	27.092.454	6.236.146	20.067.273	589.068	483.932	880.507	<b>55.349.379</b>
2014	32.492.053	7.471.862	21.579.164	704.330	586.429	1.058.291	<b>63.892.129</b>
2015	29.490.622	6.778.754	22.942.660	638.401	534.707	961.461	<b>61.346.605</b>
2016	44.022.982	10.093.148	24.899.665	945.212	820.177	1.443.592	<b>82.224.777</b>
2017	57.395.866	13.114.388	27.316.364	1.218.964	1.107.111	1.896.457	<b>102.049.150</b>
2018	52.728.523	12.031.368	29.486.616	1.114.886	1.031.080	1.747.553	<b>98.140.025</b>
2019	41.928.105	9.574.682	31.235.545	888.826	813.376	1.387.130	<b>85.827.664</b>
2020	46.228.840	10.544.069	33.125.542	976.193	907.552	1.533.493	<b>93.315.688</b>
2021	46.941.558	10.705.786	33.554.392	990.992	922.255	1.557.405	<b>94.672.388</b>
2022	32.045.321	7.325.358	33.425.932	681.565	615.322	1.057.768	<b>75.151.266</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>41.036.632</b>	<b>9.387.556</b>	<b>27.763.315</b>	<b>874.844</b>	<b>782.194</b>	<b>1.352.366</b>	<b>81.196.907</b>

### 8.7.3.2 Promedio histórico nacional de las emisiones por degradación forestal

Las emisiones nacionales por degradación forestal obtenidas con base en la aplicación de la Ecuación 28 se presentan en la Tabla 26. A partir de dicha información, se obtuvo una cifra promedio de emisiones nacionales por degradación forestal de 41.853.228 tCO<sub>2</sub>eq.

**Tabla 26. Promedio histórico nacional de las emisiones por degradación forestal calculado a partir del periodo de referencia**

AÑO	BA (tCO <sub>2</sub> eq.)	BS (tCO <sub>2</sub> eq.)	TOTAL (tCO <sub>2</sub> eq.)
2013	24.905.622	5.342.443	30.248.065
2014	28.770.153	6.171.414	34.941.567
2015	24.750.161	5.309.096	30.059.257
2016	38.116.271	8.176.227	46.292.498
2017	40.947.009	8.783.442	49.730.451
2018	41.089.136	8.813.929	49.903.065
2019	33.901.959	7.272.225	41.174.185
2020	41.417.564	8.884.379	50.301.943
2021	40.352.861	8.655.992	49.008.853
2022	30.359.958	6.512.439	36.872.397
<b>PROMEDIO</b>	<b>34.461.069</b>	<b>7.392.159</b>	<b>41.853.228</b>

### 8.7.3.3 Emisiones proyectadas por deforestación ajustadas por circunstancias nacionales

La cifra promedio de emisiones por deforestación es ajustada por circunstancias nacionales, las cuales fueron argumentadas en detalle en el numeral 8.6. Dado que estas fluctúan año a año, el modelo utilizado para predecir el comportamiento de las mismas permite inferir un porcentaje de ajuste anual específico durante el periodo de proyección del NREF. La Ecuación 29 refleja esta operación matemática:

**Ecuación 29. Cálculo de las emisiones por deforestación con ajuste por circunstancias nacionales**

ECUACION	DESCRIPCION
$EA_{def,y} = \bar{X}EA_{def,t} * (1 + CN\%)$	Emisiones anuales debidas a la deforestación ajustadas por circunstancias nacionales
<b>Parámetros y descriptores:</b> EA <sub>def,y</sub> = emisiones anuales debidas a la deforestación con ajuste por circunstancias nacionales para el año y (tCO <sub>2</sub> eq.). X̄EA <sub>def,t</sub> = promedio histórico nacional de emisiones debidas a la deforestación calculada a partir del periodo de referencia (tCO <sub>2</sub> eq.). CN% = porcentaje de ajuste por circunstancias nacionales (expresado como fracción decimal)	

Con base en lo anterior, el promedio histórico de emisiones por deforestación fue ajustado para cada año del periodo del NREF como se indica en la Tabla 27. Como puede observarse, las emisiones por deforestación varían entre 101.808.443 tCO<sub>2</sub>eq. para el año 2023 hasta 112.772.037 tCO<sub>2</sub>eq. para el año 2027.

**Tabla 27. Emisiones por deforestación proyectadas a nivel nacional para el periodo 2023 - 2027**

AÑO	Promedio histórico de emisiones nacionales por deforestación (tCO <sub>2</sub> eq.)	Circunstancias nacionales (%)	Emisiones nacionales por deforestación ajustadas por circunstancias nacionales (tCO <sub>2</sub> eq.)
2023	81.196.907	25,38	101.808.443
2024	81.196.907	29,21	104.918.521
2025	81.196.907	32,76	107.799.004
2026	81.196.907	36,00	110.424.425
2027	81.196.907	38,89	112.772.037

#### 8.7.3.4 Emisiones proyectadas por degradación forestal

A diferencia de las emisiones por deforestación, las emisiones nacionales debidas a la degradación forestal no sufren ningún ajuste por circunstancias nacionales debido a que si bien se han identificado los principales drivers que ocasionan este fenómeno, la información con la que cuenta el país es insuficiente para determinar cómo dichas circunstancias pueden incidir en el comportamiento de esta actividad REDD+. Lo anterior constituye parte de las mejoras técnicas que se deberán adelantar en los próximos años. En virtud de lo anterior, el promedio histórico por degradación forestal hallado conforme el numeral 8.7.1.2, se constituye en una cifra homogénea de emisiones para el periodo de vigencia del presente NREF como se muestra en la Tabla 28.

**Tabla 28. Emisiones por degradación forestal proyectadas para el periodo 2023 – 2027**

AÑO	Promedio histórico de emisiones nacionales por degradación (tCO <sub>2</sub> eq.)	Emisiones nacionales por degradación forestal (tCO <sub>2</sub> eq.)
2023	41.853.228	41.853.228
2024	41.853.228	41.853.228
2025	41.853.228	41.853.228
2026	41.853.228	41.853.228
2027	41.853.228	41.853.228

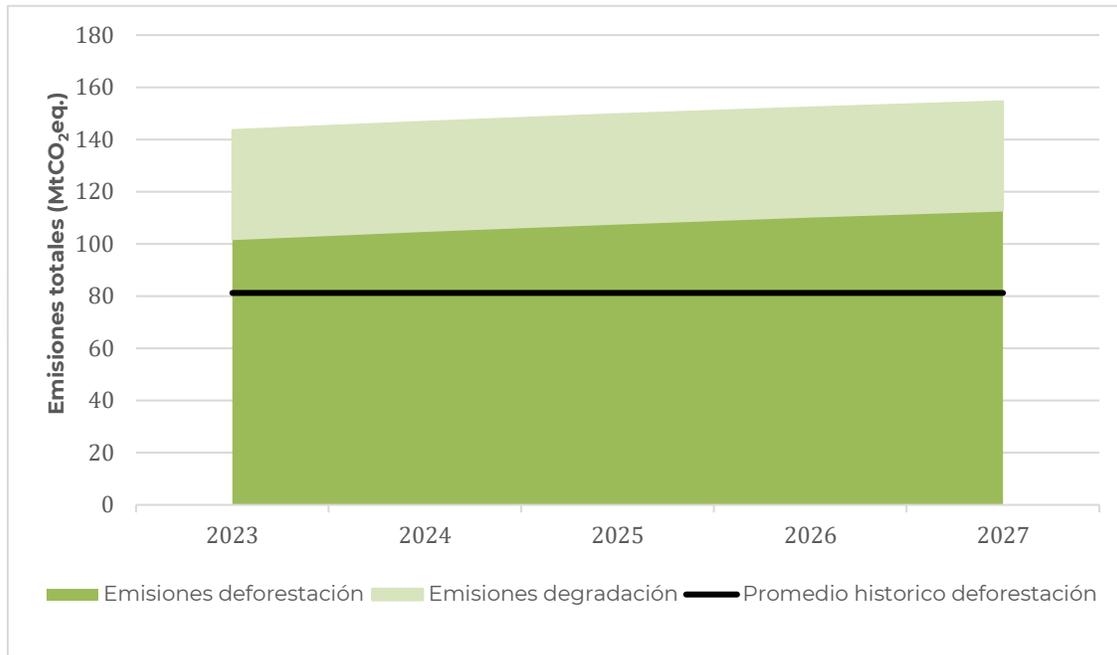
#### 8.7.3.5 Nivel de referencia nacional de emisiones forestales para el periodo 2023 – 2027

Finalmente, el nivel de referencia de emisiones forestales se determina como la suma de las emisiones nacionales por deforestación y degradación forestal halladas para el periodo de proyección, cuyos resultados se sintetizan en la Tabla 29 y se grafican en la Figura 22.

**Tabla 29. Nivel de referencia de emisiones forestales para el periodo 2023 - 2027**

AÑO	Emisiones nacionales por deforestación ajustadas por circunstancias nacionales (tCO <sub>2</sub> eq.)	Emisiones nacionales por degradación forestal (tCO <sub>2</sub> eq.)	Emisiones forestales nacionales (tCO <sub>2</sub> eq.)
2023	101.808.443	41.853.228	143.661.671
2024	104.918.521	41.853.228	146.771.749
2025	107.799.004	41.853.228	149.652.232
2026	110.424.425	41.853.228	152.277.653
2027	112.772.037	41.853.228	154.625.265

**Figura 22. Emisiones totales nacionales proyectadas debidas a la deforestación y la degradación forestal para el periodo 2023 - 2027**



#### 8.7.4 Cálculo de incertidumbre del NREF

El cálculo de la incertidumbre para determinar la precisión del NREF se establece a partir de la información de datos de actividad y los factores de emisión usados para la estimación de las emisiones GEI.

El IPCC propuso dos métodos para estimar la incertidumbre: el primero, donde se utilizan ecuaciones simples de propagación de errores que, en general, se define como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar expresadas como coeficientes de variación. El segundo utiliza la técnica de Montecarlo, que consiste en la generación de muestras a partir de la distribución teórica de las fuentes de error (IPCC 2006).

Para la estimación del Nivel de referencia 2023-2027, se consideró la naturaleza de los datos que se utilizaron para su estimación. En primer lugar, se identificó la incertidumbre asociada a datos de actividad que para 2023-2027, corresponden a deforestación, que para esta versión se discriminó por núcleo y borde, y datos de degradación.

Por otra parte, para el cálculo de factores de emisión se tomaron los datos de incertidumbre asociados a la cantidad de carbono en la biomasa aérea (AGB), subterránea (BRG) para individuos con un DAP  $\geq 5$  cm, contenidos de carbono acumulado en árboles muertos en pie (MP), tocones muertos (TM), detritos finos de madera (DFM) y detritos gruesos de madera (DGM) y cantidad de carbono orgánico acumulado en el suelo (COS), teniendo como fuente principal el IFN.

El proceso de estimación de incertidumbre aplicó técnicas de Montecarlo, replicando los modelos utilizados para la estimación de emisiones brutas de detritos, emisiones brutas de AGB y BGB (tCO<sub>2</sub>eq) y emisiones brutas de Suelos Acumulados (tCO<sub>2</sub>eq), con el fin de obtener un conjunto de resultados del modelo, que reflejara las fluctuaciones de las emisiones a partir de la combinación del conjunto de variables y la incertidumbre asociada a cada una de ellas para determinar la dispersión de las emisiones.

Finalmente, a este resultado se le incorporó la incertidumbre asociada al modelo utilizado para estimar el ajuste por circunstancias nacionales, empleando el método de propagación de error para un producto.

#### 8.7.4.1. Variables utilizadas

En primer lugar, se listan las variables que se tuvieron en cuenta para el proceso de simulación de emisiones, suponiendo en cada caso, una distribución normal,  $N(\mu, \sigma)$ . Así mismo, en el modelo de simulación se consideraron los factores de ajuste para la fracción de materia seca y el factor de conversión anual, los cuales se tomaron como constantes en el proceso de modelación.

**Tabla 30. Variables utilizadas para el modelo de estimación de incertidumbre de emisiones del NREF**

TIPO	VARIABLE	DATO DE INCERTIDUMBRE ASOCIADA	NOTACIÓN
<b>Datos de actividad</b>	Deforestación total	Coficiente de variación (CVE)	Def_t
	Deforestación Bosque Núcleo	Coficiente de variación-CVE	Def_BN
	Deforestación Bosque Borde	Coficiente de variación-CVE	Def_BB
	Degradación	Coficiente de variación-CVE	Deg
<b>Factor de emisión</b>	Biomasa aérea Bosque núcleo (t.m.s.ha)	Desviación estándar (SD)	AGB_BN_tms
	Biomasa aérea Bosque borde (t.m.s.ha)	Desviación estándar (SD)	AGB_BB_tms
	Biomasa subterránea Bosque núcleo (t.m.s.ha)	Desviación estándar (SD)	BGB_BN_tms
	Biomasa subterránea Bosque borde (t.m.s.ha)	Desviación estándar (SD)	BGB_BB_tms
	COSref (tC/ha)	Desviación estándar (SD)	COS_Ref_tcha
	COSf (tC/ha)	Desviación estándar (SD)	COS_F_tcha
	Carbono acumulado en detritos finos de madera (DFM)-Bosque núcleo	Desviación estándar (SD)	C_DFM_BN
	Carbono acumulado en detritos finos de madera (DFM)-Bosque Borde	Desviación estándar (SD)	C_DFM_BB
	Carbono acumulado en detritos gruesos de madera (DGM)-Bosque Centro	Desviación estándar (SD)	C_DGM_BN

TIPO	VARIABLE	DATO DE INCERTIDUMBRE ASOCIADA	NOTACIÓN
	Carbono acumulado en detritos gruesos de madera (DGM)-Bosque Borde	Desviación estándar (SD)	C_DGM_BB
	Carbono acumulado en árboles muertos en pie (MP), tocones muertos (TM)-Bosque Núcleo	Desviación estándar (SD)	C_MPTM_BN
	Carbono acumulado en árboles muertos en pie (MP), tocones muertos (TM)-Bosque Borde	Desviación estándar (SD)	C_MPTM_BB
<b>Factores de ajuste</b>	Fracción de carbono de materia seca	Constante = 0.47	Coef_A
	Factor de conversión (t C)	Constante = 44/12	Coef_B

Para la simulación de Montecarlo se realizaron 10.000 iteraciones por variable, para cada año. En este sentido, la serie 2013-2022 contó con un total de 100.000 iteraciones.

Una vez se ha realizado el proceso de simulación de las variables necesarias para la estimación de emisiones, se inicia el proceso de reproducción del modelo, que finalizará con la estimación de la incertidumbre de emisiones.

#### 8.7.4.2. Metodología para la estimación de incertidumbre a partir de simulación

##### a. Emisiones brutas (AGB) tCO<sub>2</sub>eq

Este compartimento se define como sigue:

#### Ecuación 30. Cálculo de las emisiones brutas de la biomasa aérea para deforestación total

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_AGB\_Def_t\_tCO_2eq_{Ai} = EB\_AGB\_BN\_tCO_2eq_{Ai} + EB\_AGB\_BB\_tCO_2eq_{Ai}$	Emisiones brutas para deforestación total (AGB) tCO <sub>2</sub> eq para el año A en la iteración <i>i</i> .
<b>Parámetros y descriptores:</b> $EB\_AGB\_BN\_tCO_2eq_{Ai}$ = Emisiones brutas Biomasa aérea por deforestación en bosque núcleo (tCO <sub>2</sub> Eq) para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. $EB\_AGB\_BB\_tCO_2eq_{Ai}$ = Emisiones brutas Biomasa aérea por deforestación en bosque borde (tCO <sub>2</sub> Eq) para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

Las emisiones brutas de biomasa aérea por deforestación en bosque núcleo se definen como:

**Ecuación 31. Cálculo de las emisiones brutas en la biomasa aérea en bosque núcleo**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_AGB\_BN\_tCO2eq_{Ai} = Def_{BN_{Ai}} * AGB\_bn\_tC_{Ai} * Coef_B$	Emisiones brutas (AGB) para deforestación bosque núcleo tCO <sub>2</sub> eq, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<p><b>Parámetros y descriptores:</b>  <math>Def_{BN_{Ai}}</math> = Deforestación Bosque Núcleo, distribución <math>N(\mu, \sigma)</math> para el año A, <i>i</i>-ésima iteración.  <math>Coef_B</math> = Factor de conversión (t C)  <math>AGB\_bn\_tC_{Ai}</math> = Carbono en biomasa aérea en bosque núcleo</p>	

Donde,

**Ecuación 32. Cálculo del factor de biomasa aérea en bosque núcleo**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$AGB\_bn\_tC_{Ai} = AGB\_BN\_tms_{Ai} * Coef_{(A)}$	Factor de Biomasa aérea para deforestación en Bosque núcleo, año A, <i>i</i> -ésima iteración
<p><b>Parámetros y descriptores:</b>  <math>AGB\_BN\_tms_{Ai}</math> = Biomasa aérea, distribución <math>N(\mu, \sigma)</math> para el año A, <i>i</i>-ésima iteración.  <math>Coef_A</math> = Fracción de carbono de materia seca</p>	

Las emisiones brutas de biomasa aérea por deforestación en bosque borde se definen como:

**Ecuación 33. Cálculo de las emisiones brutas de biomasa aérea por deforestación en bosque borde**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_AGB\_BB\_tCO2eq_{Ai} = Def_{BB_{Ai}} * AGB\_bb\_tC_{Ai} * Coef_B$	Emisiones brutas (AGB) para deforestación bosque borde tCO <sub>2</sub> eq, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<p><b>Parámetros y descriptores:</b>  <math>Def_{BB_{Ai}}</math> = Deforestación Bosque borde, distribución <math>N(\mu, \sigma)</math> para el año A, <i>i</i>-ésima iteración.  <math>Coef_B</math> = Factor de conversión (t C)  <math>AGB\_bb\_tC_{Ai}</math> = Biomasa aérea Bosque borde (t C)</p>	

Donde,

**Ecuación 34. Cálculo del factor de biomasa aérea en bosque borde**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$AGB\_bb\_tC_{Ai} = AGB\_BB\_tms_{Ai} * Coef_{(A)}$	Factor de Biomasa aérea para deforestación en Bosque borde, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<p><b>Parámetros y descriptores:</b>  <math>AGB\_BB\_tms_{Ai}</math> = Biomasa aérea bosque borde, distribución <math>N(\mu, \sigma)</math>, para el año A, <i>i</i>-ésima iteración.  <math>Coef_A</math> = Fracción de carbono de materia seca.</p>	

Las emisiones brutas de biomasa aérea por degradación se definen como:

**Ecuación 35. Cálculo de las emisiones brutas de biomasa aérea por degradación forestal**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_AGB\_Deg\_tCO_{2eqAi} = Deg_{Ai} * AGB\_deg\_tC_{Ai} * Coef_B$	Emisiones brutas (AGB) para degradación tCO <sub>2eq</sub> , año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>Def<sub>deg<sub>Ai</sub></sub></i> = Degradación, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>Coef<sub>B</sub></i> = Factor de conversión (t C) <i>AGB<sub>deg<sub>tC<sub>Ai</sub></sub></sub></i> = Biomasa aérea degradación (t C) para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

Donde,

**Ecuación 36. Cálculo de factor de biomasa aérea para degradación**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$AGB\_deg\_tC_{Ai} = AGB\_Deg\_tms_{Ai} * Coef_{(A)}$	Factor de Biomasa aérea degradación año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>AGB<sub>Deg<sub>tms<sub>Ai</sub></sub></sub></i> = Biomasa aérea degradación <i>Coef<sub>(A)</sub></i> = Fracción de carbono de materia seca	

Así mismo,

**Ecuación 37. Cálculo de la biomasa aérea por degradación forestal**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$AGB\_Deg\_tms_{Ai} = AGB\_BN\_tms_{Ai} + AGB\_BB\_tms_{Ai}$	Biomasa aérea degradación, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>AGB<sub>BN<sub>tms<sub>Ai</sub></sub></sub></i> = Biomasa aérea bosque núcleo, distribución $N(\mu, \sigma)$ , para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>AGB<sub>BB<sub>tms<sub>Ai</sub></sub></sub></i> = Biomasa aérea bosque borde, distribución $N(\mu, \sigma)$ , para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

**b. Emisiones brutas (BGB) tCO<sub>2eq</sub>**

Los componentes del modelo para emisiones brutas de biomasa subterránea se estiman como sigue:

**Ecuación 38. Cálculo de las emisiones brutas de la biomasa subterránea para deforestación total**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_BGB\_Def\_tCO_{2eqAi} = EB\_BGB\_BN\_tCO_{2eqAi} + EB\_BGB\_BB\_tCO_{2eqAi}$	Emisiones brutas para deforestación total (BGB) tCO <sub>2eq</sub> , año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>EB<sub>BGB<sub>BN<sub>tCO<sub>2eq<sub>Ai</sub></sub></sub></sub></sub></i> = Emisiones brutas Biomasa subterránea por deforestación en bosque núcleo (tCO <sub>2</sub> Eq) para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>EB<sub>BGB<sub>BB<sub>tCO<sub>2eq<sub>Ai</sub></sub></sub></sub></sub></i> = Emisiones brutas Biomasa subterránea por deforestación en bosque borde (tCO <sub>2</sub> Eq) para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

Las emisiones brutas de biomasa subterránea por deforestación en bosque núcleo se definen como:

**Ecuación 39. Cálculo de las emisiones brutas de biomasa subterránea por deforestación en bosque núcleo**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB_{BGB\_BN\_tCO2eq_{Ai}} = Def_{BN_{Ai}} * BGB\_bn\_tC_{Ai} * Coef_B$	Emisiones brutas (BGB) para deforestación bosque núcleo tCO <sub>2</sub> eq año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> $Def_{BB_{Ai}}$ = Deforestación Bosque borde, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. $Coef_B$ = Factor de conversión (t C) $BGB\_bn\_tC_{Ai}$ = Biomasa subterránea Bosque núcleo (t C)	

Donde,

**Ecuación 40. Cálculo del factor de biomasa aérea para bosque núcleo**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$BGB\_bn\_tC_{Ai} = BGB\_BN\_tms_{Ai} * Coef_{(A)}$	Factor de Biomasa aérea para deforestación en Bosque núcleo, año A, <i>i</i> -ésima iteración
<b>Parámetros y descriptores:</b> $BGB\_BN\_tms_{Ai}$ = Biomasa subterránea, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. $Coef_A$ = Fracción de carbono de materia seca	

Las emisiones brutas de biomasa subterránea por deforestación en bosque borde se definen como:

**Ecuación 41. Cálculo de las emisiones brutas de biomasa subterránea por deforestación en bosque borde**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB_{BGB\_BB\_tCO2eq_{Ai}} = Def_{BB_{Ai}} * BGB\_bb\_tC_{Ai} * Coef_B$	Emisiones brutas (BGB) para deforestación bosque borde tCO <sub>2</sub> eq, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> $Def_{BB_{Ai}}$ = Deforestación Bosque borde, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. $Coef_B$ = Factor de conversión (t C) $BGB\_bb\_tC_{Ai}$ = Biomasa aérea Bosque borde (t C)	

Donde,

**Ecuación 42. Cálculo del factor de biomasa subterránea para bosque borde**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$BGB\_bb\_tC_{Ai} = BGB\_BB\_tms_{Ai} * Coef_{(A)}$	Factor de Biomasa subterránea para deforestación en Bosque borde, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> $BGB\_BB\_tms_{Ai}$ = Biomasa aérea bosque borde, distribución $N(\mu, \sigma)$ , para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. $Coef_A$ = Fracción de carbono de materia seca	

Las emisiones brutas de biomasa subterránea por degradación se definen como:

**Ecuación 43. Cálculo de las emisiones brutas de biomasa subterránea por degradación forestal**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB_{BGB\_Deg\_tCO2eq_{Ai}} = Deg_{Ai} * BGB\_deg\_tC_{Ai} * Coef_B$	Emisiones brutas (BGB) para degradación tCO <sub>2</sub> eq, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>Def<sub>deg<sub>Ai</sub></sub></i> = Degradación, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>Coef<sub>B</sub></i> = Factor de conversión (t C) <i>BGB<sub>deg<sub>tC<sub>Ai</sub></sub></sub></i> = Biomasa subterránea degradación (t C) para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

Donde,

**Ecuación 44. Cálculo del factor de biomasa subterránea para degradación forestal**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$BGB\_deg\_tC_{Ai} = BGB\_Deg\_tms_{Ai} * Coef_{(A)}$	Factor de Biomasa subterránea por degradación año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>BGB<sub>Deg<sub>tms<sub>Ai</sub></sub></sub></i> = Biomasa subterránea degradación <i>Coef<sub>(A)</sub></i> = Fracción de carbono de materia seca	

Así mismo,

**Ecuación 45. Cálculo de la biomasa subterránea por degradación forestal**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$BGB\_Deg\_tms_{Ai} = BGB\_BN\_tms_{Ai} + BGB\_BB\_tms_{Ai}$	Biomasa subterránea degradación, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>BGB<sub>BN<sub>tms<sub>Ai</sub></sub></sub></i> = Biomasa subterránea bosque núcleo, distribución $N(\mu, \sigma)$ , para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>BGB<sub>BB<sub>tms<sub>Ai</sub></sub></sub></i> = Biomasa subterránea bosque borde, distribución $N(\mu, \sigma)$ , para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

**C. Emisiones brutas (AGB, BGB) tCO<sub>2</sub>eq**

**Ecuación 46. Cálculo de las emisiones brutas de la biomasa total para deforestación total**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB_{AGB\_BGB\_Bt\_tCO2\_eq_{Ai}} = EB_{AGB\_BGB\_BN\_tCO2\_eq_{Ai}} + EB_{AGB\_BGB\_BB\_tCO2\_eq_{Ai}}$	Emisiones brutas deforestación total (AGB, BGB) tCO <sub>2</sub> eq, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>EB<sub>AGB<sub>BGB<sub>BN<sub>tCO2<sub>eq<sub>Ai</sub></sub></sub></sub></sub></sub></i> = Emisiones brutas (AGB, BGB) para deforestación en bosque núcleo (tCO <sub>2</sub> eq), para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>EB<sub>AGB<sub>BGB<sub>BB<sub>tCO2<sub>eq<sub>Ai</sub></sub></sub></sub></sub></sub></i> = Emisiones brutas (AGB, BGB) para deforestación en bosque borde (tCO <sub>2</sub> eq), para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

Donde las emisiones brutas (AGB, BGB) para deforestación en bosque núcleo se definen como:

#### Ecuación 47. Cálculo de las emisiones brutas de la biomasa total para deforestación en bosque núcleo

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_AGB\_BGB\_BN\_tCO2\_eq_{Ai} = EB\_AGB\_BN\_tCO2\_eq_{Ai} + EB\_BGB\_BN\_tCO2\_eq_{Ai}$	Emisiones brutas (AGB, BGB) para deforestación en Bosque núcleo (tCO <sub>2</sub> eq), año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>EB\_AGB\_BN\_tCO2\_eq<sub>Ai</sub></i> = Emisiones brutas (AGB) para deforestación en bosque núcleo tCO <sub>2</sub> eq, para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>EB\_BGB\_BN\_tCO2\_eq<sub>Ai</sub></i> Emisiones brutas (BGB) para deforestación en bosque núcleo tCO <sub>2</sub> eq, para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

Las emisiones brutas (AGB, BGB) para deforestación en bosque borde se definen como:

#### Ecuación 48. Cálculo de las emisiones brutas de la biomasa total por deforestación para bosque borde

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_AGB\_BGB\_BB\_tCO2\_eq_{Ai} = EB\_AGB\_BB\_tCO2\_eq_{Ai} + EB\_BGB\_BB\_tCO2\_eq_{Ai}$	Emisiones brutas (AGB, BGB) para deforestación en Bosque borde (tCO <sub>2</sub> eq), año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>EB\_AGB\_BB\_tCO2\_eq<sub>Ai</sub></i> = Emisiones brutas (AGB) para deforestación en bosque borde tCO <sub>2</sub> eq, para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>EB\_BGB\_BB\_tCO2\_eq<sub>Ai</sub></i> Emisiones brutas (BGB) para deforestación en bosque borde tCO <sub>2</sub> eq, para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

Las emisiones brutas (AGB, BGB) para degradación se definen como:

#### Ecuación 49. Cálculo de las emisiones brutas de la biomasa total para degradación

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_AGB\_BGB\_Deg\_tCO2\_eq_{Ai} = EB\_AGB\_Deg\_tCO2\_eq_{Ai} + EB\_BGB\_Deg\_tCO2\_eq_{Ai}$	Emisiones brutas (AGB, BGB) degradación (tCO <sub>2</sub> eq), año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>EB\_AGB\_Deg\_tCO2\_eq<sub>Ai</sub></i> Emisiones brutas (AGB) para degradación tCO <sub>2</sub> eq, para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>EB\_BGB\_Deg\_tCO2\_eq<sub>Ai</sub></i> Emisiones brutas (BGB) para degradación tCO <sub>2</sub> eq, para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

### c. Estimación de emisiones brutas de detritos

El proceso de simulación de Montecarlo en la estimación de emisiones brutas de detritos se define a continuación:

**Ecuación 50. Cálculo de las emisiones brutas de los detritos de madera para deforestación total**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_C\_Det\_t_{Ai} = EB\_DFM\_tCO2\_Bt_{Ai} + EB\_DGM\_tCO2\_Bt_{Ai} + EB\_MPTM\_tCO2\_Bt_{Ai}$	Emisiones brutas Detritos tCO <sub>2</sub> eq, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>EB_DFM_tCO2_Bt<sub>Ai</sub></i> = Emisiones brutas Detritos finos de madera (DFM) en Deforestación Bosque total, para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>EB_DGM_tCO2_Bt<sub>Ai</sub></i> = Emisiones brutas Detritos gruesos de madera (DGM) en Deforestación Bosque total, para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>EB_MPTM_tCO2_Bt<sub>Ai</sub></i> = Emisiones brutas Detritos árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM), en Deforestación Bosque total, para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

Las emisiones brutas de Detritos finos de madera (DFM) en bosque total se define como:

**Ecuación 51. Cálculo de las emisiones brutas de los detritos de madera finos (DFM) en bosque total**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_DFM\_tCO2\_Bt_{Ai} = EB\_DFM\_tCO2\_BN_{Ai} + EB\_DFM\_tCO2\_BB_{Ai}$	Emisiones brutas Detritos finos de madera (DFM) en Deforestación Bosque total (tCO <sub>2</sub> eq), año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>EB_DFM_tCO2_BN<sub>Ai</sub></i> = Emisiones brutas Detritos finos de madera (DFM) en Bosque núcleo, para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>EB_DFM_tCO2_BB<sub>Ai</sub></i> = Emisiones brutas Detritos finos de madera (DFM) en Bosque borde, para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

En este caso, las emisiones brutas de Detritos finos de madera (DFM) en Bosque núcleo se establecen como:

**Ecuación 52. Cálculo de las emisiones brutas de detritos finos (DFM) en bosque núcleo**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_DFM\_tCO2\_BN_{Ai} = Def\_BN_{Ai} * C\_DFM\_BN_{Ai} * Coef_B$	Emisiones brutas Detritos finos de madera (DFM) para deforestación en Bosque núcleo (tCO <sub>2</sub> eq), año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>Def_BN<sub>Ai</sub></i> = Deforestación Bosque núcleo, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>C_DFM_BN<sub>Ai</sub></i> = Carbono acumulado en detritos finos de madera (DFM) Bosque núcleo, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>Coef<sub>B</sub></i> = Factor de conversión (t C)	

Las emisiones brutas de Detritos finos de madera (DFM) en Bosque borde se establecen como:

### Ecuación 53. Cálculo de las emisiones brutas de detritos finos (DFM) en bosque borde

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_DFM\_tCO2\_BB_{Ai} = Def\_BB_{Ai} * C\_DFM\_BB_{Ai} * Coef_B$	Emisiones brutas Detritos finos de madera (DFM) para deforestación en Bosque borde (tCO <sub>2</sub> eq), año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>Def</i> <sub>BB<sub>Ai</sub></sub> = Deforestación Bosque borde, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>C</i> <sub>DFM</sub> <sub>BB<sub>Ai</sub></sub> = Carbono acumulado en detritos finos de madera (DFM) Bosque borde, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>Coef</i> <sub>B</sub> = Factor de conversión (t C)	

Las emisiones brutas de Detritos gruesos de madera (DGM) en bosque total se define como:

### Ecuación 54. Cálculo de las emisiones brutas de detritos gruesos (DGM) en bosque total

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_DGM\_tCO2\_Bt_{Ai} = EB\_DGM\_tCO2\_BN_{Ai} + EB\_DGM\_tCO2\_BB_{Ai}$	Emisiones brutas Detritos gruesos de madera (DFM) en Deforestación Bosque total (tCO <sub>2</sub> eq), año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>EB</i> <sub>DGM</sub> <sub>tCO2</sub> <sub>BN<sub>Ai</sub></sub> = Emisiones brutas Detritos gruesos de madera (DFM) en Bosque núcleo, para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>EB</i> <sub>DGM</sub> <sub>tCO2</sub> <sub>BB<sub>Ai</sub></sub> = Emisiones brutas Detritos gruesos de madera (DFM) en Bosque borde, para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

Las emisiones brutas de Detritos gruesos de madera (DGM) en bosque núcleo se establecen como:

### Ecuación 55. Cálculo de las emisiones brutas de detritos gruesos (DGM) en bosque núcleo

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_DGM\_tCO2\_BN_{Ai} = Def\_BN_{Ai} * C\_DGM\_BN_{Ai} * Coef_B$	Emisiones brutas Detritos gruesos de madera (DFM) para deforestación en Bosque núcleo (tCO <sub>2</sub> eq), año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>Def</i> <sub>BN<sub>Ai</sub></sub> = Deforestación Bosque núcleo, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>C</i> <sub>DGM</sub> <sub>BN<sub>Ai</sub></sub> = Carbono acumulado en detritos gruesos de madera (DFM) Bosque núcleo, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>Coef</i> <sub>B</sub> = Factor de conversión (t C)	

Las emisiones brutas de Detritos gruesos de madera (DGM) en bosque borde se establecen como:

**Ecuación 56. Cálculo de las emisiones brutas de detritos gruesos (DGM) en bosque borde**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_DGM\_tCO2\_BB_{Ai} = Def\_BB_{Ai} * C\_DGM\_BB_{Ai} * Coef_B$	Emisiones brutas Detritos gruesos de madera (DFM) para deforestación en Bosque bordes (tCO <sub>2</sub> eq), año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<p><b>Parámetros y descriptores:</b>  <i>Def</i><sub>BB<sub>Ai</sub></sub> = Deforestación Bosque borde, distribución <math>N(\mu, \sigma)</math> para el año A, <i>i</i>-ésima iteración.  <i>C</i><sub>DGM<sub>BB<sub>Ai</sub></sub></sub> = Carbono acumulado en detritos gruesos de madera (DFM) Bosque borde, distribución <math>N(\mu, \sigma)</math> para el año A, <i>i</i>-ésima iteración.  <i>Coef</i><sub>B</sub> = Factor de conversión (t C)</p>	

Las emisiones brutas de Detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) en bosque total se define como:

**Ecuación 57. Cálculo de las emisiones brutas de detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) en bosque total**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_MPTM\_tCO2\_Bt_{Ai} = EB\_MPTM\_tCO2\_BN_{Ai} + EB\_MPTM\_tCO2\_BB_{Ai}$	Emisiones brutas Detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) Deforestación Bosque total (tCO <sub>2</sub> eq), año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<p><b>Parámetros y descriptores:</b>  <i>EB</i><sub>MPTM<sub>tCO2</sub><sub>BN<sub>Ai</sub></sub></sub> = Emisiones brutas Detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) en Bosque núcleo, para el año A, <i>i</i>-ésima iteración.  <i>EB</i><sub>MPTM<sub>tCO2</sub><sub>BB<sub>Ai</sub></sub></sub> = Emisiones brutas Detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) en Bosque borde, para el año A, <i>i</i>-ésima iteración.</p>	

Las emisiones brutas de Detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) en bosque núcleo se establecen como:

**Ecuación 58. Cálculo de las emisiones brutas de detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) en bosque núcleo**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_MPTM\_tCO2\_BN_{Ai} = Def\_BN_{Ai} * C\_MPTM\_BN_{Ai} * Coef_B$	Emisiones brutas Detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) para deforestación en Bosque núcleo (tCO <sub>2</sub> eq), año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<p><b>Parámetros y descriptores:</b>  <i>Def</i><sub>BN<sub>Ai</sub></sub> = Deforestación Bosque núcleo, distribución <math>N(\mu, \sigma)</math> para el año A, <i>i</i>-ésima iteración.  <i>C</i><sub>MPTM<sub>BN<sub>Ai</sub></sub></sub> = Carbono acumulado en detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) en Bosque núcleo, distribución <math>N(\mu, \sigma)</math> para el año A, <i>i</i>-ésima iteración.  <i>Coef</i><sub>B</sub> = Factor de conversión (t C)</p>	

Las Emisiones brutas de Detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) en Bosque borde se establecen como:

**Ecuación 59. Cálculo de las emisiones brutas de detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) en bosque borde**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_MPTM\_tCO2\_BB_{Ai} = Def\_BB_{Ai} * C\_MPTM\_BB_{Ai} * Coef_B$	Emisiones brutas Detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) para deforestación en Bosque borde (tCO <sub>2</sub> eq), año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>Def</i> <sub>BN<sub>Ai</sub></sub> = Deforestación Bosque borde, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>C</i> <sub>MPTM, BB<sub>Ai</sub></sub> = Carbono acumulado en detritos en árboles muertos en pie (MP) y tocones muertos (TM) en Bosque borde, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. <i>Coef</i> <sub>B</sub> = Factor de conversión (t C)	

**d. Emisiones brutas (Suelos Acumulados) tCO<sub>2</sub>eq**

Los componentes del modelo para emisiones brutas de suelos acumulados se estiman como sigue:

**Ecuación 60. Cálculo de las emisiones brutas del carbono orgánico del suelo (COS) acumulados**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_COS\_tCO2_{Ai} = Coef_B * COS\_tC_{Ai}$	Emisiones brutas (Suelos Acumulados) tCO <sub>2</sub> eq, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>Coef</i> <sub>B</sub> = Factor de conversión (t C) <i>COS</i> <sub>tC<sub>Ai</sub></sub> = Total de carbono acumulado en suelo (tC), para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

El total de carbono acumulado se estima desde el año 2001 hasta el año 2022, donde se suma el carbono acumulado por año, según los siguientes criterios:

**Ecuación 61. Cálculo del carbono total acumulado**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$COS\_tC_{Ai} = \sum_{b=2001}^{2022} PC_{Aib}$	Total carbono acumulado, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> <i>Coef</i> <sub>B</sub> = Factor de conversión (t C) <i>PC</i> <sub>Aib</sub> = Total de carbono acumulado en suelo (tC), para el año A, <i>i</i> -ésima iteración, en el año de base.	

En este sentido se tiene,

### Ecuación 62. Cálculo del carbono capturado

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$PC_{Aib} = \begin{cases} 0 & \text{si } ano_b < ano_A \\ Mod\_COS\_20a_{Ai} & \text{si } ano_A + 19 \geq ano_b \end{cases}$	Carbono capturado, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> $ano_b$ = año de referencia $ano_A$ = año base observado $Mod\_COS\_20a_{Ai}$ = Modelo general de carbono capturado	

El modelo general de carbono capturado se define como:

### Ecuación 63. Cálculo del modelo general de carbono capturado

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$Mod\_COS\_20a_{Ai} = Def_{tAi} * COS\_tcha20a_{Ai}$	Carbono capturado, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> $Def_{tAi}$ = Deforestación total para el año A, <i>i</i> -ésima iteración $COS\_tcha20a_{Ai}$ = Factor de carbono a 20 años	

Es importante señalar que, para la deforestación total, se tomaron dos criterios:

### Ecuación 64. Cálculo de la deforestación total

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$Def_{tAi} = \begin{cases} Def_{U\ Ai} & \text{si } 2001 \leq ano_A \leq 2012 \\ Def_{BN\ Ai} + Def_{BV\ Ai} & \text{si } 2013 \leq ano_A \leq 2022 \end{cases}$	Deforestación total, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> $Def_{U\ Ai}$ = Deforestación sin información de bosque borde o núcleo, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. $Def_{BN\ Ai}$ = Deforestación en bosque núcleo, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. $Def_{BB\ Ai}$ = Deforestación en bosque borde, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

Por otra parte, el factor de carbono a 20 años se define como:

### Ecuación 65. Cálculo del carbono capturado en el suelo con factor de 20 años (a)

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$COS\_tcha20a_{Ai} = COSF20\_tcha_{Ai}/20$	Carbono capturado en suelo con factor de 20 años año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> $COSF20\_tcha_{Ai}$ = Cantidad de carbono orgánico acumulado en el suelo COS (tC)	

**Ecuación 66. Cálculo del carbono capturado en el suelo con factor de 20 años (b)**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$COSF20\_tcha_{Ai} = COS_{Ref\_tcha} + COS\_F\_tcha_{Ai}$	Carbono capturado en suelo con factor de 20 años, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> $COSF20\_tcha_{Ai}$ = COS Ref 20 años, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración. $COS\_F\_tcha_{Ai}$ = COS F, distribución $N(\mu, \sigma)$ para el año A, <i>i</i> -ésima iteración.	

**e. Emisiones brutas (AGB, BGB, Detritos, Suelos(20)) tCO<sub>2</sub>eq**

Finalmente, las emisiones brutas de deforestación en biomasa aérea, subterránea, detritos y suelos se consolida como:

**Ecuación 67. Cálculo de las emisiones brutas por deforestación en la biomasa total, detritos y suelos**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EB\_ABDS\_tCO2eq_{Ai} = EB\_AGB\_BGB\_Bt\_tCO2\_eq_{Ai} + EB\_C\_Det\_t_{Ai} + EB\_COS\_tCO2_{Ai}$	Emisiones brutas (AGB, BGB, Detritos, Suelos/20) tCO <sub>2</sub> eq, año A, <i>i</i> -ésima iteración.
<b>Parámetros y descriptores:</b> $EB\_AGB\_BGB\_Bt\_tCO2\_eq_{Ai}$ = Emisiones brutas (AGB, BGB) deforestación en bosque total (tCO <sub>2</sub> eq) para el año A, <i>i</i> -ésima iteración $EB\_C\_Det\_t_{Ai}$ = Emisiones brutas Detritos tCO <sub>2</sub> eq para el año A, <i>i</i> -ésima iteración $EB\_COS\_tCO2_{Ai}$ = Emisiones brutas (Suelos Acumulados) tCO <sub>2</sub> eq para el año A, <i>i</i> -ésima iteración	

**f. Incertidumbre del NREF a nivel nacional**

Una vez se tiene la estimación de Emisiones brutas (AGB, BGB, Detritos, Suelos/20) tCO<sub>2</sub>eq para cada una de las iteraciones se procede a consolidar la incertidumbre asociada por cada año de evaluación, calculando para esto, la desviación estándar y dejándola en términos relativos (CVE). Este procedimiento se aplicó también para cada uno de los compartimentos.

Entonces se tiene:

**Ecuación 68. Cálculo del promedio de las emisiones brutas para la biomasa total, detritos y COS**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$\overline{EB\_ABDS\_tCO2eq_A} = \frac{\sum_{i=1}^I EB\_ABDS\_tCO2eq_{Ai}}{I}$	Promedio de emisiones brutas (AGB, BGB, Detritos, Suelos/20) tCO <sub>2</sub> eq, por año
<b>Parámetros y descriptores:</b> $EB\_ABDS\_tCO2eq_{AR}$ = Emisiones brutas (AGB, BGB, Detritos, Suelos/20) tCO <sub>2</sub> eq $I$ = Total de iteraciones de la simulación por año	

**Ecuación 69. Cálculo de la varianza del promedio de las emisiones brutas de la biomasa total, detritos y COS**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$VAR(\overline{EB\_ABDS\_tCO2eq})_A = \frac{\sum_{i=1}^{SI} (EB\_ABDS\_tCO2eq_{Ai} - \overline{EB\_ABDS\_tCO2eq}_A)^2}{I}$	Varianza del Promedio de emisiones brutas (AGB, BGB, Detritos, Suelos/20) tCO <sub>2</sub> eq, por año.
<b>Parámetros y descriptores:</b> $\overline{EB\_ABDS\_tCO2eq}_A$ = Promedio de emisiones brutas (AGB, BGB, Detritos, Suelos/20) tCO <sub>2</sub> eq $I$ = Total de iteraciones de la simulación por año	

**Ecuación 70. Cálculo de la desviación estandar de las emisiones brutas de la biomasa total, detritos y COS**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$\sigma(\overline{EB\_ABDS\_tCO2eq})_A = \sqrt{VAR(\overline{EB\_ABDS\_tCO2eq})_A}$	Desviación estándar de emisiones brutas (AGB, BGB, Detritos, Suelos/20) tCO <sub>2</sub> eq, por año.
<b>Parámetros y descriptores:</b> $VAR(\overline{EB\_ABDS\_tCO2eq})_A$ = Varianza del Promedio de emisiones brutas (AGB, BGB, Detritos, Suelos/20) tCO <sub>2</sub> eq, por año	

**Ecuación 71. Cálculo de la incertidumbre de las emisiones brutas de la biomasa total, detritos y COS**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$U(\overline{EB\_ABDS\_tCO2eq})_A = \frac{\sigma(\overline{EB\_ABDS\_tCO2eq})_A}{\overline{EB\_ABDS\_tCO2eq}}$	Incertidumbre (CVE) de emisiones brutas (AGB, BGB, Detritos, Suelos/20) tCO <sub>2</sub> eq, por año
<b>Parámetros y descriptores:</b> $\sigma(\overline{EB\_ABDS\_tCO2eq})_A$ = Error absoluto de emisiones brutas (AGB, BGB, Detritos, Suelos/20) tCO <sub>2</sub> eq, por año $\overline{EB\_ABDS\_tCO2eq}$ = Promedio de emisiones brutas (AGB, BGB, Detritos, Suelos/20) tCO <sub>2</sub> eq, por año	

**g. Estimación de incertidumbre por circunstancias nacionales**

Dada la naturaleza de las estimaciones de emisiones brutas y los datos de ajuste por circunstancias nacionales, se determinó utilizar el método de propagación de error para un producto, dado que, el dato de emisiones se multiplica por el porcentaje asociado a circunstancias nacionales por año, de tal forma se tiene el cual se define como:

**Ecuación 72. Calculo de la incertidumbre del NREF**

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$U(NEF) = \sqrt{U_{EB}^2 + U_{CN}^2}$	Incertidumbre del nivel de referencia
<b>Parámetros y descriptores:</b> $U_{EB}^2$ = Incertidumbre asociada a emisiones brutas $U_{CN}^2$ = Incertidumbre asociada a circunstancias nacionales	

### 8.7.4.3 Resultados

El NREF presenta la incertidumbre asociada a los datos de emisiones por año a nivel nacional, considerando cada uno de los compartimentos y los resultados de la estimación de degradación. La evaluación del promedio de incertidumbre de emisiones brutas (AGB, BGB, Detritos y Suelos (20)) fue de **9,79%**.

**Tabla 31. Incertidumbre del NREF desagregado por compartimentos y para degradación forestal**

AÑO	INCERTIDUMBRE				
	Emisiones brutas (AGB, BGB) tCO <sub>2</sub> Eq	Emisiones brutas Detritos tCO <sub>2</sub> eq	Emisiones brutas Suelos Acumulados tCO <sub>2</sub> eq	Emisiones brutas (AGB, BGB, Detritos, Suelos/20) tCO <sub>2</sub> eq	Emisiones brutas degradación (AGB, BGB) tCO <sub>2</sub> Eq
2013	20,03%	23,93%	9,58%	13,66%	25,30%
2014	19,83%	23,58%	9,91%	14,35%	25,30%
2015	19,75%	23,43%	10,30%	14,16%	25,30%
2016	8,04%	14,20%	10,42%	7,21%	25,30%
2017	8,28%	13,44%	10,56%	7,46%	25,30%
2018	5,79%	11,69%	10,57%	5,80%	25,30%
2019	10,10%	14,53%	10,70%	8,64%	25,30%
2020	10,08%	14,27%	10,84%	8,71%	25,30%
2021	10,08%	14,25%	11,09%	8,86%	25,30%
2022	10,14%	14,78%	11,32%	9,08%	25,30%
<b>Incertidumbre promedio por año</b>	<b>12,21%</b>	<b>16,81%</b>	<b>10,53%</b>	<b>9,79%</b>	<b>25,30%</b>
<b>Incertidumbre promedio serie</b>	<b>26,40%</b>	<b>29,23%</b>	<b>20,68%</b>	<b>21,50%</b>	<b>31,85%</b>

En el caso de la incertidumbre de emisiones ajustadas por circunstancias nacionales se estimó una incertidumbre general de 19,17%, teniendo en cuenta  $U_{EB} = 9,79\%$  y  $U_{CN} = 16,47\%$ .

## 9. CONSISTENCIA ENTRE REPORTES DE GESTIÓN DE GEI PRESENTADOS A LA CMNUCC

### 9.1 Consistencia entre NREF nacional y el Tercer Reporte Bienal de Actualización

Las emisiones estimadas asociadas a la deforestación del bosque en el módulo AFOLU, específicamente las incluidas en la categoría 3B-Tierras en el último inventario nacional de GEI presentado a la CMNUCC mediante el Tercer Reporte Bienal de Actualización (RBA3), son consistentes con la definición de bosque, los datos de actividad para deforestación (tasas de deforestación anual), gases considerados (solamente CO<sub>2</sub>) y supuestos usados (distribución de la fuga de emisiones del carbono orgánico del suelo en tasas de la misma magnitud, distribuidas en un periodo de 20 años) para el cálculo de emisiones presentados en el presente NREF (IDEAM et al., 2022). No obstante, se observan algunas diferencias entre las estimaciones realizadas en el RBA 3 y el presente NREF, tal como se explican a continuación:

- Las emisiones en el RBA 3 se estiman mediante el método de pérdidas y ganancias sugerido por IPCC (2006), lo que implica que además de la tasa anual de deforestación, también se determinan las coberturas/ usos de la tierra en la que se convierte el bosque después de haberse deforestado. En cambio, el presente NREF solo considera las emisiones a partir de la deforestación bruta. El país aún sigue trabajando en un refinamiento metodológico que le permita tipificar la deforestación, lo cual hará parte del plan de mejora a ser incorporado en el siguiente NREF.
- El RBA3 calcula las emisiones por deforestación a partir del año 1990 a diferencia del NREF que tiene en cuenta la información desarrollada por el país desde el año 2000. Esta diferencia determina un cambio en la estimación anual de las emisiones brutas asociadas al depósito de suelos, ya que el RBA3 incluye pérdidas rezagadas de carbono de los suelos del periodo 1990-2000. Sin embargo, estas diferencias dejarán de existir entre el NREF y el RBA3 cuando se reporte el año 2019, momento en el cual las emisiones derivadas del depósito de suelos y asociadas a la tasa de deforestación anual del periodo 1990-2000 dejan de contabilizarse. El NREF nacional no incluye datos de actividad del periodo 1990-2000, ya que la tasa anual de deforestación calculada corresponde a un solo periodo decenal de cambio de las coberturas de Bosque No-Bosque, el cual no es comparable con la metodología de estimación de la deforestación por periodos bienales y anuales utilizada a partir del año 2000.
- Ambos reportes incorporan el depósito de materia orgánica muerta de manera diferenciada. Mientras el RBA 3 toma el valor por defecto sugerido por IPCC (2006) el cual obedece específicamente al componente de la hojarasca; el NREF presenta valores de detritos de madera (o madera muerta) para bosque borde y bosque núcleo obtenidos a partir de la actualización del IFN pero no considera hojarasca. Esto constituye una mejora técnica con respecto al NREF 2018 – 2022, el cual

adolesce de dicha información. Se espera incorporar los valores de madera muerta en el futuro BTR como parte del plan de mejora de dicho reporte.

- Los contenidos de carbono en la biomasa y suelos para el NREF son los obtenidos a partir de los últimos datos reportados que proceden de la actualización del IFN hasta el año 2023 y su correspondiente ajuste realizado para los estratos bosque borde y bosque núcleo, mientras que en el RBA3 se utilizan datos de una actualización preliminar del IFN que incorporaba datos disponibles hasta el 2018, tal como se explicó en el numeral 8.5.
- El presente NREF reporta emisiones por degradación forestal mediante un enfoque basado en métricas del paisaje, el cual define clases de fragmentación para el bosque como paso previo a la deforestación y establece pérdidas en los contenidos de carbono como la diferencia entre la biomasa aérea entre un ecosistema forestal en estado no perturbado (bosque núcleo) y la biomasa aérea de un bosque en estado degradado (bosque borde), por lo cual sus datos de actividad y factores de emisión se basan en la reducción de áreas del dosel del bosque y la proporción de biomasa asociada a esa área, respectivamente (Ramírez-Delgado *et al.*, 2018). Por otro lado, el RBA 3 registra la degradación forestal en función de un solo factor causal que corresponde al consumo de leña en la población rural para la cocción de alimentos y en donde se asume que la leña procede únicamente del bosque natural. En este caso las emisiones generadas responden al producto entre el número de personas que consumen leña como recurso energético de cocción (dato de actividad) y la cantidad de leña consumida por persona anualmente en tC/habitante/año (factor de emisión)<sup>21</sup>.

## 9.2 Diferencias entre el NREF nacional 2018 – 2022 y el presente NREF nacional

Con los avances y mejoras de información alcanzados en años recientes, se ha logrado el refinamiento de datos, los cuales han podido ser incorporados al presente NREF, diferenciándose del documento precedente en los siguientes aspectos:

- Se incluye el territorio insular como parte del análisis para generar los datos de actividad por deforestación. Dicho territorio queda embebido en las regiones Caribe y Pacífico.
- Se efectuó una estratificación adicional de los bosques nacionales, los cuales fueron divididos en dos estratos: bosque intacto (núcleo) y bosque degradado (borde), lo que permitió mejorar las estimaciones de biomasa para cada estrato en función de su grado de perturbación. Con lo anterior, se pudieron establecer diferencias estadísticamente significativas entre ambos estratos lo que permitió cuantificar el nivel de degradación de los bosques.
- Se refinaron los datos de actividad debidas a la deforestación para el periodo de referencia (2013 – 2022) como resultado de un mejoramiento en los

<sup>21</sup> Se reportan factores de emisión para siete departamentos, de los cuales se generó un valor factor de emisión nacional a partir del valor promedio hallado. Ver anexo 14 del Tercer Reporte Bienal de Actualización de Colombia (BUR 3).

procedimientos de control de calidad respecto a la adecuada clasificación de los píxeles bajo el atributo bosque – no bosque con lo cual se garantiza la consistencia en la serie temporal analizada y, de esta forma, evitando que un píxel pueda ser contado dos veces como deforestado. Lo anterior condujo a un ajuste en las cifras que fueron presentadas en el NREF anterior y que se hacen evidentes a partir del año 2013 tal como fue presentado en la Tabla 4.

- Se aumentó el número de conglomerados analizados lo que mejora la precisión de las estimaciones de los contenidos de carbono en los diferentes depósitos evaluados. En comparación con el NREF 2018-2022, las unidades muestrales consideradas ascienden al 64,4% con respecto al tamaño total de la muestra. El anterior NREF (2018-2022) solo consideraba el 20,5% de los conglomerados levantados por el IFN. No obstante, debe aclararse que por efecto del proceso de post-estratificación realizado a los bosques para desagregarlos en bosques intactos (núcleo) y degradados (borde) fueron analizados solamente 661 conglomerados con el propósito de precisar las estimaciones de biomasa aérea para estos dos estratos, lo que corresponde al 44,7% del tamaño total de la muestra.
- El contenido de carbono de la biomasa total y suelos difiere respecto del NREF 2018 – 2022. Se observan cambios en las cifras nacionales de biomasa aérea nacional, ahora discriminada a nivel de bosque núcleo y bosque borde y del COS promedio nacional en los bosques del país como consecuencia de un mayor número de conglomerados analizados.
- El modelo logístico utilizado para proyectar la deforestación mantiene el enfoque utilizado en el NREF anterior al utilizar los datos de actividad del periodo decenal más reciente (2013 – 2022). El modelo mejora su desempeño respecto del anterior, en cuanto a la predicción de la deforestación en el periodo de referencia dado que utiliza como pivotes los años 2013 y 2022, lo que implica que en él se consideran los efectos de las negociaciones con las FARC y, además considera los efectos del fenómeno de El Niño fuerte (2015 – 2016). En consecuencia, el modelo refleja dichas realidades y, al hacerlo mejora su pronóstico frente a los datos observados.
- Otra mejora realizada respecto de la modelación del NREF anterior, tiene que ver con que la nueva proyección considera la trayectoria arrojada por el modelo logístico de crecimiento y evita utilizar el límite inferior del intervalo de confianza, lo cual mejora la exactitud del pronóstico.
- Se mantiene la misma definición de bosque utilizada en los NREF previamente sometidos a la CMNUCC. Esta definición también fue incorporada en el BUR 3, con lo cual se garantiza la consistencia de la misma en ambos reportes. Adicionalmente, en el BUR 3 se establecen definiciones propias para plantaciones forestales y otro tipo de coberturas arbóreas<sup>22</sup>.
- Se incluye el depósito de detritos de madera (madera muerta).

<sup>22</sup> Estas definiciones hacen parte del anexo 13 del BUR 3. Disponible en: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BUR3%20-%20COLOMBIA.pdf>

- Se incluye la degradación forestal dentro del nivel de referencia de emisiones forestales con alcance nacional.

## 10. PLAN DE MEJORAS Y FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES

Considerando el proceso de mejora continua que establece la CMNUCC en su Decisión 12 / CP.17 (parágrafo 10) y que tiene como propósito el refinamiento de las estimaciones de los futuros niveles de referencia de emisiones forestales, Colombia plantea las siguientes mejoras técnicas, las cuales tienen el potencial de ser incorporadas en el próximo NREF, respondiendo a sus capacidades técnicas y científicas pero reconociendo sus limitaciones y necesidades de investigación, las cuales determinan en buena medida la capacidad de avance del país en este campo.

### 10.1 Refinamiento de los factores de emisión para deforestación

Durante 2023, el país adelantaba la fase final de campo del IFN y se aprestaba para complementar los análisis de la información recolectada. Lo anterior permitió mejorar las estimaciones de los factores de emisión al contar con 953 conglomerados como parte de dichos análisis, lo que representa un avance de más del 64% del total de conglomerados establecidos a lo largo y ancho del territorio nacional. Para el próximo NREF el país contará con un refinamiento adicional respecto de los factores de emisión presentados en el presente nivel de referencia debido a que el 100% de las unidades muestrales habrán sido procesadas.

### 10.2 Unidades de muestreo permanente para el monitoreo continuo del bosque

Durante la evaluación técnica (TA) del NREF 2018 – 2022, se recomendó por parte de la CMNUCC, la finalización del primer ciclo del IFN para mejorar la representatividad de los datos dasométricos, debido a que los factores de emisión fueron construidos considerando solamente el 20,4% de las unidades muestrales definidas para tal propósito. Como se indicó en el anterior numeral, el presente NREF presenta una mejora en este aspecto al aumentar el número de unidades muestrales analizadas en un 64,4% respecto al tamaño de la muestra. Con el propósito de realizar un monitoreo continuo del bosque, el país mantiene su decisión de establecer conglomerados permanentes de seguimiento en los próximos años en al menos un 3% de la muestra que fue definida para realizar el IFN.

### 10.3 Tipificación de la deforestación y emisiones netas

Una mejora técnica proyectada tiene que ver con determinar el cambio de coberturas/uso del suelo posterior al evento de deforestación. El país viene realizando importantes avances en este aspecto, lo cual alineará este reporte con el futuro BTR en el que se reportaran emisiones netas como resultado del balance entre la cobertura que se pierde y aquella que se regenera o se restablece dentro de cada unidad geográfica de análisis. Sin embargo, la adopción de este nuevo enfoque implicará un *trade off* con el uso de periodos de referencia inmediatos al inicio de la vigencia del próximo NREF

debido a que el país requiere una brecha de tiempo para identificar la nueva cobertura / uso del suelo desde que se produce el evento de deforestación. Se estima que el espacio de tiempo para realizar tal identificación podría fluctuar entre 3 y 4 años, lo que obligaría a utilizar periodos de referencia cuyo último año considere esta particularidad.

#### **10.4 Refinamiento de los factores de emisión para degradación forestal**

Tal como se indicó para deforestación (numeral 10.1), la degradación forestal también será susceptible de mejoras en los factores de emisión en razón de los ajustes que puedan derivarse del análisis de las unidades muestrales faltantes del IFN (36% del tamaño de la muestra). Para el próximo NREF, el país contará con un refinamiento adicional respecto de los factores de emisión presentados en el presente nivel de referencia debido a que el 100% de las unidades muestrales habrán sido procesadas.

#### **10.5 Modelación de circunstancias nacionales asociadas a la degradación forestal**

El presente NREF incluye la degradación forestal como una de sus mejoras técnicas respecto del anterior NREF sometido ante la CMNUCC. Sin embargo, a diferencia de la deforestación, la proyección de las emisiones debidas a la degradación forestal no tiene asociadas circunstancias nacionales debido a limitantes de información respecto al comportamiento histórico de esta actividad REDD+. En virtud de lo anterior, dentro del plan de mejoras del próximo NREF se contempla la incorporación del análisis de circunstancias nacionales para degradación forestal.

#### **10.6 Diferenciación de contenidos de carbono en suelos minerales y suelos orgánicos**

Con el análisis y sistematización del 100% de los conglomerados que conforman el IFN, se podrá adelantar una estratificación de los suelos forestales diferenciándolos entre minerales y orgánicos con base en el mapa nacional de suelos. Esta diferenciación permitirá refinar los datos asociados a los contenidos de carbono por cada uno de estos tipos de suelos, lo que a la postre contribuirá a mejorar las estimaciones en las emisiones de CO<sub>2</sub> de este depósito de carbono.

#### **10.7 Inclusión de las mejoras del presente NREF como parte del primer BTR**

Para mantener la consistencia entre reportes, la información resultante del presente NREF será integrada como parte del primer BTR que presente Colombia ante la CMNUCC en 2024. Es posible que, por disponibilidad de información más reciente, algunas de las mejoras indicadas previamente, puedan verse reflejadas en dicho documento. El país trabajará para mantener la consistencia entre reportes ante la CMNUCC a medida que sus capacidades técnicas lo permitan.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Armenteras D., Retana J. 2012. *Dynamics, patterns and causes of fires in northwestern Amazonia*. PLoS ONE 7(4): e35288. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035288>.

Armenteras D., González T., Vargas O., Meza M., Oliveras I. 2020. *Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú*. *Caldasia* 42(1): 1-16. DOI: <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v42n1.77353>

Birigazzi, L., Gamarra, J., & Gregoire, T. (2018). Unbiased emission factor estimators for large-area forest inventories: domain assessment techniques. *Environmental and Ecological Statistics*, 199-219.

Cairns, M., Brown, S., Helmer, E., & Baumgardner, G. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 1-11.

Casarim, F., Ramírez-Delgado, J., Sidman, G., Bernal, B., McMurray, A., & Pearson, T. (2017). Estimación de emisiones del aprovechamiento forestal por tala selectiva: Propuesta de un método operacional para Colombia. s.l.: Winrock International.

Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S., Swenson, N., & Zanne, A. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 351-366.

Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M., Delitti, W., . . . Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 3177-3190.

Clerici N., Armenteras D., Kareiva P., Botero R. Ramírez-Delgado J., Forero-Medina G., Ochoa J., Pedraza C., Schneider L., Lora C., Gómez C., Linares M., Hirashiki C., Biggs D. 2020. *Deforestation in Colombian protected areas increased during post-conflict periods*. *Nature: Scientific Reports* (2020) 10:4971. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61861-y>

CLEAR. (2023). Edge width explained. University of Connecticut.

Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2020). CONPES 4021 - Política Nacional para el Control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques. Bogotá D.C.: Departamento Nacional de Planeación.

Da Silva S., Fearnside P., De Alencastro-Graça P., Brown I., Alencar A. De Melo W. 2018. *Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon*. *Forest Ecology and Management*, 424, 312-322.

DeFries, R., Achard, F., Brown, S., Herold, M., Murdiyarso, D., Schlamadinger, B., & Souza, C. (2006). Reducing greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries: considerations for monitoring and measuring. Rome: Global Terrestrial Observing System (GTOS).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2011). Atlas estadístico: Tomo I Demográfico. Obtenido de [https://geoportal.dane.gov.co/servicios/atlas-estadistico/src/Tomo\\_I\\_Demografico/1.1.-el-territorio-colombiano.html](https://geoportal.dane.gov.co/servicios/atlas-estadistico/src/Tomo_I_Demografico/1.1.-el-territorio-colombiano.html)

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2023). Cuenta ambiental y económica de flujos del bosque (CAE - FB) . Bogotá D.C.: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (Marzo de 2023). Proyecciones y retroproyecciones de población para el periodo 1950 - 2019 y 2020 - 2070 con base en el CNPV 2018. Obtenido de Censo nacional de población y vivienda 2018 - Colombia: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

Departamento Nacional de Planeación. (2019). CONPES 3958: Estrategia para la implementación de la política pública de catastro multipropósito. Bogotá D.C.: DNP.

Fundación Ideas para la Paz (FIP). 2020a. *Fuerzas Militares y la protección del ambiente: roles, riesgos y oportunidades*. Fundación Ideas para la Paz. Bogotá, Colombia.

Fundación Ideas para la Paz (FIP). 2020b. *Dinámicas de la confrontación armada y su impacto humanitario y ambiental: tendencias en la pandemia, enero a abril de 2020*. Fundación Ideas para la Paz. Bogotá, Colombia.

Fundación Paz & Reconciliación (PARES). 2022. *Plomo es lo que hay: violencia y seguridad en tiempos de Duque*. Fundación Paz & Reconciliación, Línea de Paz, Posconflicto y Derechos Humanos. Bogotá, Colombia.

Galindo, G., Espejo, O., Rubiano, J., Vergara, L., & Cabrera, E. (2014). Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. Versión 2.0. Bogotá D.C.: IDEAM.

GOFC - GOLD. (2008). Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and degradation in developing countries: a sourcebook of methods and procedures for monitoring, measuring and reporting. Obtenido de [https://unfccc.int/files/methods\\_science/redd/methodologies/other/application/pdf/gofc-gold\\_redd\\_sourcebook\\_version\\_july\\_2009\\_cop14\\_2.pdf](https://unfccc.int/files/methods_science/redd/methodologies/other/application/pdf/gofc-gold_redd_sourcebook_version_july_2009_cop14_2.pdf)

González, J. Cubillos, A. Chadid, M. Cubillos, A. Arias, M. Zúñiga, E. Joubert, F. Pérez, I. Berrío, V. 2018. *Caracterización de las principales causas y agentes de deforestación a nivel nacional período 2005-2015*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Programa ONU-REDD Colombia. Bogotá, Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2016. *Boletín informativo sobre el monitoreo de los fenómenos de variabilidad climática "El Niño" y "La Niña", No. 94 (mayo de 2016)*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2022. *Actualización de cifras de monitoreo de la superficie de bosque y la deforestación - año 2021*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2023a. *Actualización de cifras de monitoreo de la superficie de bosque y la deforestación - año 2022*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2023b. *Seguimiento al ciclo ENOS El Niño - Oscilación del Sur, Boletín No. 183 (octubre de 2023)*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2023c). Cálculo de los factores de emisión para los sumideros forestales de carbono: biomasa aérea, biomasa subterránea, carbono orgánico del suelo y detritos de madera a partir de los datos del inventario forestal nacional [Documento no publicado]. Bogotá D.C.: IDEAM.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente), Departamento Nacional de Planeación (DNP), Cancillería de Colombia. 2018. *Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC)*. IDEAM, PNUD, Minambiente, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2008). Atlas Básico de Colombia: Tomo I. Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

IPCC. (2003). Good practice guidance for land use, land-use change. Hayama, Japan: IPCC - IGES.

IPCC. (2006). Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. En H. Eggleston, L. Buendía, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories (págs. 1-93). Hayama (Japan): IGES - IPCC.

Ljubomir G., Car D, Drobnjak S., Hamid, Pourghasemi R. 2019. *Modeling the spatial variability of forest fire susceptibility using geographical information systems and the analytical hierarchy process*. Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815226-3.00015-6>.

López D. 2022. *Colombia es el segundo país del mundo con más organizaciones criminales*. Artículo publicado en el Diario El País de España, 31 de agosto de 2022. <https://elpais.com/america-colombia/2022-08-31/colombia-es-el-segundo-pais-del-mundo-con-mas-organizaciones-criminales.html>

López, J. (6 de Julio de 2020). ¿A quien le pertenece la tierra en Colombia y como se divide el territorio por su uso? Obtenido de La República:

<https://www.larepublica.co/economia/a-quien-le-pertenece-la-tierra-en-colombia-y-como-se-divide-el-territorio-por-su-uso-3026493>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023a). 7° Boletín Estadístico Forestal - Marzo 2023. Bogotá D.C.: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Forestal.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023b). Proyecto Biocarbono Orinoquía. Obtenido de <https://biocarbono.org/proyecto/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - IDEAM. (6 de Enero de 2020). Propuesta del nivel de referencia de las emisiones forestales por deforestación en Colombia para pago por resultados de REDD+ bajo la CMNUCC. Obtenido de Infohub REDD+ UNFCCC Web Platform: [https://redd.unfccc.int/media/18-08-2020\\_nref\\_colombia\\_v8.pdf](https://redd.unfccc.int/media/18-08-2020_nref_colombia_v8.pdf)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & IDEAM. (2018). Estrategia integral de control a la deforestación y la gestión de bosques. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - IDEAM - Programa ONU-REDD - GIZ - FCPF - Banco Mundial - Fondo Acción.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Primer informe de cumplimiento de hitos bajo la modalidad 1 de la Declaración Conjunta de Intención renovada. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Junio de 2023). Resultados no causación - Boletín No. 10. Obtenido de Mercados de carbono: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/07/RESULTADOS-DE-NO-CAUSACIO%CC%81N-Boleti%CC%81n-No.10.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2002). Definición de bosque para proyectos de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura para el primer periodo de compromisos. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Molinario, G., Hansen, M., & Potapov, P. (2017). Forest cover dynamics of shifting cultivation in the Democratic Republic of the Congo 2010-2010 (2015 Environ. Res. Lett. 10 094009). Environmental Research Letters.

Monroy D, Arias J, Barón O, Murcia U, Armenteras D. 2019. *Presiones ejercidas sobre la Serranía de La Lindosa, Guaviare: cambios de cobertura e incidencia de fuegos entre 2012 y 2018*. Acta biol. colomb. 24 (2): 372-378. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v24n2.72435>.

Narváez, G., & León, G. (2001). Caracterización y zonificación climática de la región Andina. Meteorología Colombiana, 121-126.

Negret P., Allan J., Braczkowski A., Maron M., Watson J. 2017. *Need for conservation planning in postconflict Colombia*. Conservation Biology, Volume 31, No. 3, 499–500. Society for Conservation Biology. DOI: 10.1111/cobi.12935

Negret P., Sontera L., Watson J., Possingham H., Jones K., Suárez C., Ochoa-Quintero J., Maron M. 2019. *Emerging evidence that armed conflict and coca cultivation influence deforestation patterns*. Biological Conservation 239 (2019) 108176. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.07.021>

Niño C. 2022. *Cinco puntos críticos para una “paz total”*. Artículo publicado en Razón Pública, 30 de octubre de 2022. <https://razonpublica.com/cinco-puntos-criticos-una-paz-total/>

Olofsson, P., Foody, G., Herold, M., Stehman, S., Woodcock, C., & Wulder, M. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. Remote Sensing of Environment, 42-57.

Olofsson, P., Foody, G., Stehman, S., & Woodcock, C. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. Remote Sensing of Environment, 122-131.

Olthof, I., Pouliot, D., Fernandes, R., & Latifovic, R. (2005). Landsat 7-ETM radiometric normalization for northern mapping applications. Remote Sensing of Environment, 388-298.

Palace, M., Keller, M., Hurtt, G., & Frohling, S. (2012). A review of above ground necromass in tropical forests. En P. Sudarshana, Tropical forests (págs. 215-252). Rijeka, Croatia: InTech.

Potapov, P., Turubanova, S., Hansen, M., Adusei, B., Broich, M., Altstatt, A., . . . Justice, C. (2012). Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000 - 2010 with Landsat ETM+ data. Remote Sensing of Environment, 106-116.

Pourtaghi Z., Pourghasemi H., Aretanoc R., Semeraroca T. 2015. *Investigation of general indicators influencing on forest fire and its susceptibility modeling using different data mining techniques*. Ecological Indicators 64: 72–84.

Poveda, G, Manrique H. 2007. *Aplicación de la curva logística a los censos de la ciudad de Medellín*. Ecos de Economía. Medellín.

Prem M., Saavedra S., Vargas J. 2019. *End-of-conflict deforestation: evidence from Colombia's peace agreement*. Latin American and the Caribbean Economic Association (LACEA). Working paper series No. 0021. Bogotá, Colombia.

Ramirez-Delgado, J., Galindo, G., Yepes, A., & Cabrera, E. (2018). Estimación de la degradación de bosques de Colombia a través de un análisis de fragmentación. Bogotá D.C.: IDEAM - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Programa ONU - REDD Colombia.

Reynoso L. 2022. *Las cinco claves de la ley de la paz total de Gustavo Petro*. Artículo publicado en el Diario El País de España, 26 de octubre de 2022. <https://elpais.com/america-colombia/2022-10-26/las-claves-de-la-ley-de-la-paz-total.html>

Rodriguez, N., Armenteras, D., Morales, M., & Romero, M. (2006). *Ecosistemas de los Andes colombianos*. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Rojas, O., & Murillo, O. (2000). Calidad de las plantaciones de teca en la Península de Nicoya, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 65-75.

Shapiro, A., Grantham, H., Aguilar-Amuchastegui, N., Murray, N., Gond, V., Bonfils, D., & Rickenback, O. (2021). Forest condition in the Congo Basin for the assessment ecosystem conservation status. *Ecological Indicators*.

Sierra, C., del Valle, J., Orrego, S., Moreno, F., Harmon, M., Zapata, M., ... Benjumea, J. (2007). Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porcè region, Colombia. *Forest Ecology and Management*, 299-309.

Stehman, S. (2010). Impact of sample size allocation when using stratified random sampling to estimate accuracy and area of land-cover change. *Remote Sensing Letters*, 111-120.

Suárez A., Arias-Arévalo P., Martínez-Mera E. 2018. *Environmental sustainability in post-conflict countries: insights for rural Colombia*. *Environ Dev Sustain* (2018) 20: 997-1015. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-9925-9>

Walter, H. (1977). *Vegetation of the Earth and ecological systems of the geo-biosphere*. Berlín: Springer verlag.

Weaver, P. (2000). Elfin woodland recovery 30 years after a plane wreck in Puerto Rico's Luquillo Mountains. *Caribbean Journal of Science*, 1-9.

White B. 2018. *Spatiotemporal variation in fire occurrence in the state of Amazonas, Brazil, between 2003 and 2016*. *Acta Amazonica* 48: 358-367